

F. van der Paauw, H. A. Sissingh en J. Ris

*Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Groningen)*

## Een verbeterde methode van fosfaatextractie van grond met water: het Pw-getal

with a summary

An improved method of water extraction for the assessment  
of availability of soil phosphate: Pw value



1971 *Centrum voor landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie*  
*Wageningen*

ISBN 90 220 0333 7

© Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, 1971.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reproduced and/or published in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publishers.

## Abstract

PAAUW, F. VAN DER, SISSINGH, H. A. & RIS, J. (1971). Een verbeterde methode van fosfaat-extractie van grond met water: Pw-getal. (An improved method of water extraction for the assessment of availability of soil phosphate: Pw value). Versl. landbouwk. Onderz. (Agric. Res. Repts) 749, ISBN 90 220 0333 7, pp (viii) + 64, tables 5, figs 20, Eng. and Dutch summaries.

A new procedure was developed for aqueous extraction of phosphate from soil to obtain an effective index of availability of soil phosphate. Each part of the procedure was improved step by step by observing the correlation of index with the phosphate content of the plants in a standard pot trial. The merits of the final procedure, expressed as Pw method, were then tested with soils from many field and pot trials.

The method now adopted for routine soil testing in the Netherlands is as follows. A dry soil sample 1.2 cm<sup>3</sup> is premoistened and kept for 22 h at 20° C. The sample is then extracted with 60 volumes water per 1 volume dry soil, passed through a 2 mm sieve, maintaining the temperature at 20° C.

For arable soils, crop response was considerably more closely related to Pw value than to the formed index, P-AL value. Pw value hardly interacted, if at all, with other soil characteristics such as content of organic matter, textural class, carbonate content, pH and phosphate-fixing capacity. For soils rich in iron (> 10 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), the relation was not so close. Geographic origin of the soils concerned did not usually influence the applicability of the index.

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	1
<b>2 Historische ontwikkeling van de fosfaatbepaling in Nederland</b>	3
<b>3 Ontwikkeling van een nieuwe waterextractiemethode</b>	6
<b>4 Correlatie tussen bepalingen volgens de P-AL- en de Pw-methode</b>	9
<b>5 Toetsing van het Pw-getal aan de reactie van het gewas en vergelijking met het P-AL-getal</b>	11
5.1 Inleiding	11
5.2 De correlaties in de 'standaardproef' (1960)	12
5.3 Toetsing van de variant van de waterextractiemethode (het Pw-getal) aan onafhankelijk verkregen proefuitkomsten	16
5.3.1 Proefvelden op verschillende grondsoorten in interprovinciaal verband (1960)	16
5.3.2 Potproeven en proefvelden op zandgrond (1958)	18
5.3.3 Proefvelden op zand- en op veenkoloniale grond (1959)	21
5.3.4 Potproef met zandgronden (1952)	22
5.3.5 Potproef met sterk ijzerhoudende zandgronden (1956, 1957)	24
5.3.6 Potproef met zeeklei-, rivierklei- en lössgronden (1957)	26
5.3.7 Potproef met zeeklei van sterk wisselend kalkgehalte (1959)	28
5.3.8 Proefveld met verschillen in fosfaat- en kalktoestand (pH) op zandgrond (1940-1946)	29
5.3.9 Proefvelden met pootaardappelen op zavelgrond in Friesland (1958)	30
5.3.10 Potproef met sterk en zwak fosfaatfixerende zandgronden met verschillende fosfaatmeststoffen (1959 en 1960)	31
5.3.11 Potproef met sterk fosfaatfixerende klei- en zandgronden (1965)	34
<b>6 Bodemfactoren die op het verband tussen Pw-getal en de reactie van het gewas van invloed kunnen zijn</b>	37
6.1 Invloed van de pH van de grond	37
6.2 Invloed van het $\text{CaCO}_3$ -gehalte van de grond	40
6.3 Invloed van het humusgehalte van de grond	40
6.4 Invloed van het gehalte aan afslibbare delen van de grond	40

6.5	Invloed van het fosfaatfixerende vermogen van de grond	40
6.6	Invloed van de vorm waarin fosfaat aan de grond is toegediend	42
6.7	Invloed van tuinturf	42
6.8	Conclusie	43
<b>7</b>	<b>Beproeving van het Pw-getal op sterk afwijkende buitenlandse grondsoorten</b>	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>Enkele aspecten van het Pw-getal</b>	<b>47</b>
8.1	Algemene beschouwing	47
8.2	De waarde van het Pw-getal onder veldomstandigheden	48
8.3	De overschakeling op Pw-getal voor onderzoek van praktijkpercelen	49
8.4	Controle op het bemestingsbeleid	50
	<b>Samenvatting</b>	<b>52</b>
	<b>Summary</b>	<b>54</b>
	<b>Appendix</b>	<b>61</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>63</b>

## 1 Inleiding

De reeds ongeveer veertig jaar geleden in Nederland in gebruik genomen methoden van grondonderzoek ter bepaling van de fosfaattoestand waren, zoals vanzelf spreekt, gebaseerd op toenmalige inzichten en ervaringen.

Het was bekend dat een groot gedeelte van het bodemfosfaat praktisch onopneembaar, en voor de plant dus van geen betekenis is. Wat het wel beschikbare gedeelte van de voorraad fosfaat betreft, werd betwijfeld of een bepaling van deze hoeveelheid fosfaat voldoende inzicht zou geven. Het werd nodig geacht ook de mate van beschikbaarheid hiervan te beschouwen. Door toepassing van zwak zure oplossingen werd gepoogd een indruk te verkrijgen van het eerste, door van water gebruik te maken van het tweede aspect (De Vries et al., 1937).

Deze onderscheiding wordt bij de studie van opnamevraagstukken nog steeds gemaakt; er wordt van een kwantiteitsfactor (quantity) gesproken en van een intensiteitsfactor (intensity). Het verschil met vroeger is dat het inzicht in de achtergrond van deze aspecten meer inhoud heeft verkregen. Zo kan thans het mobiele fosfaat in de grond, dat potentieel voor de plant opneembaar is, vrij goed worden bepaald (de zgn. 'labile pool'). Slechts een klein gedeelte hiervan bevindt zich in de bodemoplossing waar de wortels de fosfaationen aan onttrekken. Reeds lang is bekend dat ook de mate waarin de fosfaatconcentratie door afgifte uit de 'labile pool' op peil gehouden wordt, van betekenis kan zijn. Deze eigenschap wordt als capaciteitsfactor onderscheiden en is bepaald door het fosfaatbufferend vermogen van de grond.

Bij het langzaam ter beschikking komende en in lage concentratie aanwezige fosfaat wordt veel belang gehecht aan de intensiteitsfactor. Dit in tegenstelling tot het in de bodem zeer bewegelijke nitraat waarvan de kwantiteit van overwegende betekenis is. In welke mate een van deze aspecten voor fosfaat onder bepaalde omstandigheden zal overwegen, valt moeilijk te voorspellen. Bij het onderzoek daarnaar is men op proefvelden en potproeven aangewezen; het gedrag van de plant zal de oplossing moeten verschaffen. Eenvoudig is dit niet altijd; het kan zelfs voorkomen dat een wijziging hierin zich voordoet tijdens de groei van de plant. Zo vermeldt Williams (1967) dat de vooral in het begin van de groeiperiode reeds vastgelegde opbrengstverschillen in sterkere mate correleren met de resultaten van die methode die het aspect van de intensiteit sterker tot uitdrukking bracht, terwijl voor de tijdens de gehele groeiduur opgenomen hoeveelheid fosfaat een betere samenhang met de resultaten van een methode die juist de kwantiteit beter karakteriseerde, werd gevonden.

In de jaren dertig en veertig zijn in ons land veel van dergelijke onderzoeken verricht, waarbij op grasland en bouwland schijnbaar tegenstrijdige uitkomsten zijn verkregen. Zo is de fosfaatopname van gras duidelijk beter gecorreleerd met de uitkomsten van zwak zure extractiemethoden, maar zijn op bouwland vaak gunstige resultaten met waterextractie verkregen. Dit wijst erop dat de omstandigheden in beide gevallen bij de opname van fosfaat verschillend zijn en door verschillende aspecten worden beheerst. Het goede resultaat met water op bouwland geeft aan dat hier het aspect van de intensiteit vermoedelijk de doorslag geeft.

Hoewel de destijds toegepaste waterextractiemethode zowel op zand- als op klei-grond meestal redelijk voldeed, bleken de getallen, wat orde van grootte betreft, bij gelijke beschikbaarheid voor de plant op beide grondsoorten sterk te verschillen. Vergelijking van verwante analysemethoden gaf de indruk dat dit verschil een gevolg is van de wijze waarop de extractie met water wordt verricht. Het leek mogelijk dat de waterextractiemethode zodanig gewijzigd zou kunnen worden dat de uitkomsten voor alle grondsoorten gelijke of bijna gelijke betekenis zouden hebben. Het voordeel van zo'n methode ligt in de algemene toepasbaarheid.

Het was voor het bereiken van dit doel noodzakelijk te beschikken over materiaal waaraan de invloed van wijzigingen in de methode kan worden getoetst. Nu verkeert het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in de gelukkige omstandigheid dat de grondmonsters van talrijke in het verleden genomen fosfaatproeven in de grondmonsterverzameling zijn bewaard gebleven. Nieuwe proeven waren dus niet nodig.

Een potproef uit 1960 met aardappelplanten is verricht om als standaard te worden gebruikt. Ze omvatte zandgronden, veenkoloniale gronden, rivierkleigronden, zeekleigronden en lössgronden; elk met binnen de groep sterk variërende eigenschappen. Met behulp van deze proef is de methode stap voor stap verbeterd. Het overige materiaal is gebruikt voor een onafhankelijke toetsing van de verkregen methode.

## 2 Historische ontwikkeling van de fosfaatbepaling in Nederland

In Nederland beschikt men sinds lang over een extractiemethode met water. Dit is de methode van het in 1928 ingevoerde P-getal, dat de hoeveelheid  $P_2O_5$  aangeeft die wordt verkregen bij een extractie van 1 deel grond met 10 delen water gedurende 24 uur bij  $50^\circ C$ . De landbouwkundige ervaringen met deze methode zijn in sommige gevallen gunstig geweest. Het in de eerste jaren beschikbare proefveldmateriaal was echter ontoereikend om de waarde van de methode te beoordelen.

Tegen deze methode zijn belangrijke bezwaren gerezen:

a. Het gehalte aan fosfaat in de extractievloeistof is bij kleigronden meestal zo laag dat geen nauwkeurige beoordeling mogelijk is; de methode is praktisch alleen geschikt voor bouwland op zand- en dalgronden.

Pas later is gebleken, dat ook bij kleigronden bruikbare uitkomsten kunnen worden verkregen, mits bij de bepaling bijzondere voorzorgen in acht worden genomen. Het blijft echter een bezwaar dat de waarden bij kleigronden enige malen kleiner zijn dan die bij zandgronden met een even grote beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas. Men zou dus bij de beoordeling rekening moeten houden met de grondsoort, wat bezwaarlijk is en ook de beoordeling van overgangsgevallen bemoeilijkt.

b. De bepalingfout is door verschillende oorzaken belangrijk groter dan van andere in Nederland toegepaste methoden van grondonderzoek.

Daartoe dragen bij: de moeilijkheden bij het beheersen van de temperatuur, de oncontroleerbare wijze van sedimenteren van de grond na kortstondig schudden met de hand, die mede het effectieve contactoppervlak bepaalt, en de ongelijke duur van het affiltreren bij (niet geheel constante) kamertemperaturen, waardoor de concentratie kan veranderen.

c. De uitvoering is omslachtig en neemt veel tijd, wat niet door kleine verbeteringen is op te vangen.

d. Het P-getal is in het veld in de loop van de tijd onderhevig aan schommelingen. Het was onvoldoende bekend of werkelijke verschillen in de beschikbaarheid voor de plant hiermee parallel lopen. Als deze variaties voor het gewas echter zonder betekenis zouden zijn, zou een vergelijking van op verschillende tijdstippen verrichte bepalingen moeilijkheden kunnen geven.

Enkele van deze bezwaren gaven in 1933 aanleiding tot de invoering van een tweede methode: de extractie van grond met 1 % citroenzuur, waarmee o.a. in het voormalige Nederlands-Indië gunstige ervaringen waren opgedaan. Daarnaast bleef



de bepaling van het P-getal gehandhaafd.

Men is er zich bij de invoering van de P-citr-methode terdege van bewust geweest op een ander principe over te stappen. Een zwak zure extractie zou inzicht kunnen geven in de 'voorraad' beschikbaar fosfaat, het P-getal in de 'directe beschikbaarheid in de bodemoplossing' (De Vries et al., 1937). Deze gedachte loopt vooruit op moderne onderscheidingen, zoals in de Inleiding zijn aangeroerd. Welk aspect zou overheersen wist men niet; men koesterde de hoop dat een gecombineerde bepaling meer zou leren dan elke methode afzonderlijk.

Het kan niet worden ontkend dat het gebruik van de verhouding tussen beide waarden (P-getal/P-citr) enig inzicht heeft verschaft in het vermogen van de grond fosfaat te fixeren (De Vries et al., 1938). Van deze verhouding is echter weinig gebruik gemaakt; meestal werd aan een van beide methoden de voorkeur gegeven.

De P-citr-methode is in 1958 vervangen door de eenvoudiger uit te voeren P-AL-methode van Egnér, Riehm en Domingo (1960), die er nauw verwant mee is. De grond wordt daarbij uitgetrokken met een mengsel van ammoniumlactaat en azijnzuur. De uitkomsten (als bij P-citr uitgedrukt in 0,001 %) liggen iets lager, maar bij verreweg de meeste grondsoorten zijn ze nauw gecorreleerd met de P-citr-getallen. Kleine afwijkingen pleiten ten gunste van de P-AL-methode (Van der Paauw, 1959). Deze vervanging heeft geen wezenlijke moeilijkheden opgeleverd.

Een voordeel van P-citr (en P-AL) is dat op verschillende gronden als regel waarden worden verkregen die naar orde van grootte redelijk overeenstemmen en niet, zoals bij P-getal, voor de ene grondsoort op een heel ander niveau liggen dan voor de andere. De methode leent zich daardoor beter voor algemeen gebruik. Verder zijn P-citr en P-AL minder gevoelig voor veranderingen in de loop van de tijd. Zolang niet met zekerheid bekend was of er veranderingen in de beschikbaarheid in het spel zijn, kon dit als een voordeel worden beschouwd.

Het lag niet in de beschouwingwijze van de jaren dertig opgesloten vergelijkingen tussen P-citr en P-getal te entameren. Niettemin vermeldt Visser (1943) als uitkomst van een in 1937 en 1938 op Groningse klei- en zavelgronden uitgevoerd onderzoek dat het P-getal slecht voldeed, terwijl de waarde van het P-citr redelijk was. De gunstige indruk van het P-getal bleef dus toen beperkt tot de zand- en dalgronden; een systematisch onderzoek is er echter niet verricht.

Een vergelijking van beide methoden is na enig voorafgaand onderzoek (Van der Paauw, 1939, 1941) in de jaren 1939-1941 op grasland begonnen (Van der Paauw, 1943) en voortgezet in 1943, 1947 en 1948 (Van der Paauw et al., 1951). In bijna alle gevallen bleek P-citr beter te voldoen dan P-getal, zodat de belangstelling voor het P-getal verflauwde. Behalve in de Veenkoloniën, en zelfs daar niet algemeen, is dan ook na 1950 weinig van deze methode gebruik gemaakt.

Er was inmiddels (1951) ook met P-citr op bouwland meer ervaring opgedaan. Deze was vooral op zandgrond teleurstellend. Dit leidde in 1952 tot een oriënterend onderzoek in een potproef met 220 uit het gehele land afkomstige zand- en dalgronden. De uitslag hiervan is doorslaggevend geweest voor de verdere gang van zaken. Jonge haver- en aardappelplanten bleken namelijk veel beter op het P-getal

te reageren dan op P-citr. Het verschil was zelfs zo groot dat het vermoeden opkwam dat het aan de aard van de proef had gelegen. In afwijking van de praktijk werden namelijk slechts jonge planten onderzocht, met veel dichtere stand dan gebruikelijk. Bovendien waren de planten overvloedig begoten. Naderhand bleek echter dat bij doorgroeien tot volwassenheid met een geringere watergift en bij een dunnere stand overeenkomstige uitkomsten werden verkregen. Ook uit een in 1957 genomen potproef met zavelgronden, die tot doel had P-citr en P-AL te vergelijken, bleek dat een nauwkeurig bepaald P-getal belangrijk beter voldeed dan deze methoden. Dit leidde ertoe het onderzoek intensief voort te zetten.

Daartoe werden in 1958 tot 1960 veldproeven genomen en gelijktijdig hiermee potproeven met grond van deze proefvelden. De resultaten van de proefvelden stemden in grote trekken overeen met die van deze en van eerder genomen potproeven. De extractie met water gaf namelijk steeds belangrijk betere uitkomsten. Om deze reden werd besloten een poging te doen een nieuwe methode te ontwikkelen, evenals de P-getal-methode berustend op een extractie met water, maar zonder de onvolkomenheden aan deze methode verbonden.

Ook onderzoek in het laboratorium, gecombineerd met onderzoek in potten, heeft tot de conclusie geleid dat water de meest belovende extractievloeistof voor het bepalen van het voor de plant beschikbare fosfaat is (Sissingh, 1961). Waarden van isotopisch uitwisselbaar bodemfosfaat die in het laboratorium in grond-water systemen (E-waarden) en in potproeven (L-waarden) werden bepaald, bleken van dezelfde orde van grootte te zijn. Hieruit kan besloten worden dat in laboratoriumproeven dezelfde componenten van het bodemfosfaat in een mobiele toestand worden gebracht als die, welke mobiel zijn in grond die met bodemoplossing in contact is. Als dit met de vroeger in gebruik zijnde extractie met 1 % citroenzuuroplossing wordt vergeleken blijkt, bij toepassing van radioactief fosfaat als hulpmiddel, een belangrijk verschil. Een grote hoeveelheid van componenten van het bodemfosfaat wordt namelijk door deze oplossing gemobiliseerd. Voor een belangrijk deel is deze in de grond niet mobiel en daarom ook niet opneembaar.

### 3 Ontwikkeling van een nieuwe waterextractiemethode

Dit onderzoek heeft een stimulans ondervonden door persoonlijk contact met de Duitse onderzoeker wijlen dr. A. Kawe (in 1958). Het bijzondere in diens extractiemethode zou zijn dat de grond niet met water maar met een tevoren bereid verdund extract van dezelfde grond wordt uitgetrokken (Kawe, 1936). Daarmee zou de natuurlijke 'bodemplossing' worden geïmiteerd en zouden (volgens persoonlijke mededeling) op zand- en kleigronden in landbouwkundig opzicht gelijkwaardige uitkomsten worden verkregen. Onderzoek aan een reeks Nederlandse, van proefvelden afkomstige grondmonsters, door Kawe zelf, bevestigde dit laatste. De methode-Kawe bleek dus een belangrijk voordeel te hebben.

Kawe's methode is afgeleid uit de meer bekende methode van Dirks & Scheffer (1930). Hierbij worden twee extractiemiddelen gebruikt: water, bij een pH-KCl van de grond  $< 5$ , en een bicarbonaatoplossing bij een pH  $> 6$ . Bij een pH tussen 5 en 6 worden beide extracties verricht, waarvan de hoogste uitkomst wordt aangehouden. De bedoeling van de bicarbonaatoplossing is om bij hogere pH het bodemvocht te imiteren. In deze richting is Kawe nog iets verder gegaan.

De methode van Kawe onderscheidt zich van het P-getal niet alleen door het extractiemiddel, maar ook door de verhouding tussen grond en oplosmiddel ( $1 : 2\frac{1}{2}$  tegenover  $1 : 10$ ), de extractieduur (2 tegen 24 uur) en de lagere temperatuur ( $20^{\circ}\text{C}$  tegenover  $50^{\circ}\text{C}$ ). Bovendien wordt de oplossing in het eerste geval voortdurend geschud. Voor de bepaling van het fosfaatgehalte in het extract gebruikte Kawe de molybdeenblauw-methode met tinchloruur als reductans. Deze methode is belangrijk gevoeliger dan de bij het P-getal gebruikte molybdeenblauw-methode met metol, zodat ook lage concentraties nauwkeurig kunnen worden bepaald. Een hoge temperatuur, zoals bij de P-getalmethode wordt gebruikt om het oplossen van fosfaat te bevorderen, is daarom niet nodig. De bepaling met tinchloruur leent zich echter weinig voor massaonderzoek, daar de kleur niet bestendig is.

Het bleek ons dat het gebruik van 'bodemplossing' als extractiemiddel niet essentieel is; met zuiver water zijn de resultaten niet minder goed. Het is dus niet nodig om deze nogal omslachtige methode te gebruiken.

Wij onderzochten de invloed van de extractieduur (van 5 minuten tot 24 uur) en van de temperatuur (van  $10^{\circ}$  tot  $50^{\circ}\text{C}$ ). Geen van beide factoren bleek verantwoordelijk te zijn voor het verschil met het P-getal. Bij nauwe extractieverhouding bleek het verschil tussen grondsoorten echter belangrijk geringer te zijn dan bij ruimere.

De door Kawe en door Dirks & Scheffer gebruikte verhouding tussen grond en oplosmiddel ( $1 : 2\frac{1}{2}$ ) werd door ons gewijzigd in  $1 : 3\frac{1}{3}$  ( $3 : 10$ ), zodat steeds, ook bij humusrijke gronden, voldoende extract wordt verkregen. Het resultaat was bij toetsing aan het gewas niet wezenlijk anders dan bij de verhouding  $1 : 2\frac{1}{2}$  ( $1 : 5$  was daarentegen wel merkbaar minder goed).

Met de gemodificeerde methode Dirks-Scheffer werd bij zand en klei bij pH-KCl  $< 6$  hetzelfde verband met de reactie van het gewas gevonden als bij pH  $> 6$ . De waterextractie is dus, zoals nader zal worden bevestigd, ongevoelig voor verschillen in pH. Met bicarbonaatoplossing worden soms hogere waarden gevonden, die echter geen juiste maat bleken te zijn van de beschikbaarheid voor de plant. De poging een betere aanpassing te krijgen van de bodemoplossing door het gebruik van bicarbonaatoplossing heeft dus, naar het ons op grond van dit beperkte onderzoek voorkomt, geen succes gehad.

Volgens de waterextractiemethode van Dirks-Scheffer bestaat er, evenmin als bij de methode Kawe, geen belangrijk verschil in landbouwkundige betekenis tussen op klei- en zandgrond bepaalde getallen.<sup>1</sup>

De verschillende methoden, resp. varianten van de waterextractie-methode, zijn steeds getoetst aan de  $P_2O_5$ -gehalten van jonge aardappelplanten van een in 1960 genomen potproef. Op deze standaardproef wordt in het volgende uitvoerig teruggekomen (blz. 12).

Bij dit eerste onderzoek, waaruit de  $1 : 3\frac{1}{3}$  methode is voortgekomen, is de grondsuspensie alleen bij de aanvang van de extractie met de hand geschud om de gronddeeltjes goed te bevochtigen. Daar het nalaten van schudden tijdens de extractie een bron van fouten kan zijn, is bij al het volgende werk steeds krachtig geschud. Dit gaf een opvallende wijziging van de uitkomsten. De resultaten bij verschillende grondsoorten bleken nu het meest bij de wijdsta verhouding van grond en extractiemiddel overeen te komen. Zelfs een verwijding van de verhouding van  $1 : 20$  tot  $1 : 40$  gaf nog een merkbare verbetering; dit was niet meer het geval bij verwijding tot  $1 : 80$ . Alleen de sterk humeuze veenkoloniale gronden gedroegen zich nog afwijkend: getoetst aan de uitkomsten van de potproef uit 1960 bleken de getallen belangrijk lager gewaardeerd te moeten worden dan van zand-, zeeklei-, rivierklei- en lössgronden. Bij een getal 30 was de beschikbaarheid voor de plant niet beter dan bij 20 op de andere gronden.

Bij toepassing van de waterextractiemethode op ruimere schaal bleek dat bepalingen in pas gedroogde monsters belangrijk hoger kunnen uitvallen dan in monsters die enige maanden of langer zijn bewaard. Afhankelijk van het wisselende vochtgehalte van de lucht neemt de gedroogde grond na langdurig contact geringe hoeveelheden water op. De uit deze verschillen in vochtgehalte voortkomende

1. Dit eerste, oriënterende werk is op verdienstelijke wijze verricht door de analist H. E. ter Haar.

storingen konden worden geëlimineerd door het monster vóór de extractie gedurende een etmaal te bevochtigen. Na deze voorbehandeling bleken de veenkoloniale gronden zich niet meer afwijkend te gedragen.

Deze werkwijze maakte het om technische redenen noodzakelijk af te stappen van de gebruikelijke bepaling per gewichtseenheid grond. In plaats hiervan wordt een *volume* grond uitgetrokken met een 60-voudig *volume* water. Deze verhouding is vooral voor lichtere humeuze gronden wijder dan de verhouding 1 op 40 naar gewicht, voor minder humeuze met een volumegewicht van ongeveer 1,3 maakt het minder uit. De bepaling van het fosfaatgehalte op basis van volume lijkt misschien wat juister dan op basis van gewicht. De plant wortelt immers in een volume grond. Er is inderdaad een aanwijzing verkregen, dat de resultaten na deze wijziging iets beter zijn.

Bij een wijde extractieverhouding zijn de fosfaatconcentraties in het extract zeer laag. Dank zij recente verbeteringen in de analysemethode (Murphy & Riley, 1962) levert de nauwkeurige bepaling van lage fosfaatconcentraties (thans in delen per miljoen, vroeger per honderduizend) geen moeilijkheden op.

Alle ingevoerde wijzigingen hebben tezamen belangrijke verbeteringen opgeleverd. De voornaamste was dat op alle grondsoorten gelijkwaardige uitkomsten worden verkregen. Ook binnen de groep van de zandgronden trad nog een merkbare verbetering op, vooral omdat verschillen in fosfaatfixerend vermogen een veel geringere invloed bleken te hebben op het resultaat. Het zal bovendien blijken dat de beschikbaarheid van het bodemfosfaat voor het gewas volgens deze methode met een grote nauwkeurigheid kan worden bepaald.

Het hiermee bepaalde getal heeft de naam Pw-getal (Pw value) gekregen. De methode is sinds 1 augustus 1968 bij het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek in gebruik.

Een voorlopig bemestingsadvies op basis van Pw-getal voor zand- en veenkoloniale gronden werd door Bakker (1968) gegeven. Het onderzoek naar de gewenste bemesting op verschillende grondsoorten is voortgezet door Ris. Zijn uitkomsten wijzen er op dat een zelfde fosfaatbemesting op alle Nederlandse grondsoorten kan worden aanbevolen als het Pw-getal gelijk is. Een nieuw advies, geldig voor alle grondsoorten, is opgesteld door Bakker & Ris (1971). Met uitzondering van zeeklei en Holocene zandgronden, die om bepaalde redenen iets minder ontvangen, is het advies wederom voor alle gronden gelijk.

De uitvoering van de methode wordt (in het Engels) in de Appendix beschreven.

## 4 Correlatie tussen bepalingen volgens de P-AL- en de Pw-methode

Een vervanging van een methode door een andere, omdat de resultaten uit landbouwkundig oogpunt onbevredigend zijn, heeft vooral zin als de nieuwe methode op een afwijkend principe is gebaseerd. Van een methode waarvan de uitkomsten sterk met die van de afgekeurde methode zijn gecorreleerd, kan nauwelijks een verbetering worden verwacht. Daarom is de correlatie tussen de uitkomsten van de oude P-AL-methode en de Pw-methode nagegaan.

De correlaties moeten worden berekend aan de hand van volgens het toeval genomen monsters. Dit is niet bij alle proefseries die in deze publikatie worden besproken, het geval geweest. Om het onderscheid tussen twee methoden zo scherp mogelijk aan het licht te brengen, kan het namelijk voordeel hebben de proefpercelen of de in potproeven gebruikte gronden tevoren te selecteren na een voorafgegaan grondonderzoek. Er wordt hiermee beoogd in de proefserie relatief meer gevallen met een hoge waarde volgens de ene en een lage volgens de andere te verkrijgen (en omgekeerd) dan normaal in de praktijk worden gevonden. De correlatie tussen beide is dan lager. Er is daarom onderscheid gemaakt tussen de resultaten verkregen bij gebruik van niet en van wel voorgeselecteerde monsters (linker- en rechterhelft van tabel 1).

Tabel 1. Correlaties tussen Pw-getal en P-AL-getal in verschillende bouwlandgronden.

	Ongeselecteerd			Na selectie			
	potproef	<i>r</i>	<i>n</i>	potproef	veldproef	<i>r</i>	<i>n</i>
Löss/Loess	1957	0,94	24	1960		0,97	10
Rivierklei/River clay	1957	0,91	25	1960		0,79	9
Zeeklei/Marine clay	1957 + 1959	0,82	141	1960		0,67	37
Zand/Sand	1952	0,77	159	1960	1958 + 1959	0,37	74
Veenkoloniale grond/ Sand-peat mixture	1952	0,34	22	1960	1959	0,21	34
	pot trial	<i>r</i>	<i>n</i>	pot trial	field trial	<i>r</i>	<i>n</i>
	Not selected			Selected			

*r* = correlatie-coëfficiënt/correlation coefficient

*n* = aantal monsters/number of samples

Table 1. Correlations between Pw value and P-AL value in arable soils.

De cijfers uit de linkerhelft geven vermoedelijk een vrij bevredigend beeld van de correlaties zoals deze bij gronden in Nederland voorkomen. De monsters zijn namelijk over het gehele land verzameld, al waren sommige streken sterker vertegenwoordigd dan andere, en was het aantal monsters niet groot.

Het Pw-getal en het P-AL-getal zijn alleen op lössgrond sterk gecorreleerd. Dit betekent dat de ene methode nauwelijks andere inlichtingen kan geven dan de andere. Zoals later zal blijken, voldoet de Pw-methode hier niet minder dan op de andere gronden. De P-AL-methode is hier dus praktisch ook goed te gebruiken en zou niet behoeven te worden vervangen, zolang deze grondsoort op zichzelf wordt beschouwd. Bij de rivierklei is ook een vrij sterke correlatie gevonden.

De op zand- en kleigrond gevonden correlatiecoëfficiënten zijn duidelijk lager. Opvallend is dat de correlatie op zeeklei niet veel hoger is dan op zand. Bij deze waarden stemmen de uitkomsten van beide methoden in 30 à 40 % van de gevallen niet overeen. Het zal blijken dat vooral op zand, en in iets mindere mate op klei, een duidelijk onderscheid bestaat in bruikbaarheid van de methode.

Het grootste verschil tussen beide methoden is op veenkoloniale grond gevonden. Aan voorlichting en praktijk was al lang bekend dat de P-getal- en de P-AL-methode hier sterk uiteenlopende resultaten gaven. Vrij algemeen werd aan eerstgenoemde de voorkeur gegeven. De Pw-methode toont hetzelfde verschil met P-AL.

## 5 Toetsing van het Pw-getal aan de reactie van het gewas en vergelijking met het P-AL-getal

### 5.1 Inleiding

Inzicht in de praktische bruikbaarheid van een methode van grondonderzoek kan alleen op proefvelden worden verkregen. Zolang het echter alleen gaat om het ontwerpen van een methode waarmee de beschikbaarheid voor de plant van het bodemfosfaat nauwkeurig wordt gemeten, verdienen gestandaardiseerde potproeven de voorkeur: ze zijn namelijk veel minder onderhevig aan storende invloeden van het weer en onafhankelijk van verschillen in het bodemprofiel.

Voor onze werkwijze is karakteristiek geweest dat eerst een bepalingwijze is uitgezocht (extractie met water) die zich in gunstige zin van andere onderscheidt. Vervolgens is deze stap voor stap verbeterd. Daartoe was een standaard nodig om de aangebrachte wijzigingen te toetsen. Hiervoor diende de reeds genoemde potproef in 1960, waarvan voor dit doel grote grondmonsters in reserve zijn gehouden. Nadat de methode aan de hand van voortdurende toetsing aan de resultaten van deze ene proefserie successievelijk was verbeterd, werd deze aan een veel groter, onafhankelijk materiaal gecontroleerd. Dit betrof grondmonsters van meestal ter toetsing van grondonderzoek of voor andere doeleinden genomen pot- en veldproeven, die voor dergelijk later onderzoek waren bewaard.

Het is bij de toetsing van een methode van grondonderzoek niet noodzakelijk hiervoor alleen de door bemesting met fosfaat verkregen verschillen in opbrengst te gebruiken. Het gebruik van deze maat is door economische motieven ingegeven. Het gaat ons in de eerste plaats om een maat die het nauwkeurigst aangeeft hoe de plant op verschillen in beschikbaarheid reageert. Het is namelijk lang niet zeker dat de opbrengst (het eindprodukt van een lange keten van processen) hiervoor de beste maatstaf is. Ervaring heeft geleerd dat het fosfaatgehalte van de droge stof van een gewas in volle ontwikkeling vaak beter de opneembaarheid van het bodemfosfaat aangeeft. Dit geldt alleen als er geen abnormale onderbrekingen in de groei zijn voorgekomen, die in een potproef uitgesloten zijn.

Dat wil niet zeggen dat er geen andere, eveneens geschikte maatstaven zijn. Zo is ook de in het jeugd stadium opgenomen hoeveelheid fosfaat (het produkt van opbrengst aan droge stof en het fosfaatgehalte) en het uiterlijke voorkomen van de plant, mits kwantitatief uitgedrukt, goed te gebruiken. In het algemeen gezegd is elk kenmerk bruikbaar dat sterk afhankelijk is van de beschikbaarheid van het fosfaat.



Een onderzoek naar de meest geschikte methode om de opneembaarheid van bodemfosfaat voor de plant vast te stellen is echter niet helemaal hetzelfde als de beoordeling van de toepasbaarheid van een methode van grondonderzoek in de praktijk. In het laatste geval moet met eigenschappen van het gehele profiel, de vochthoudendheid en met de klimatologische omstandigheden rekening worden gehouden. Het is zelfs denkbaar dat een methode die onder geconditioneerde omstandigheden zeer goed voldoet, toch, door het overheersen van zulke factoren, in de praktijk weinig bruikbaar is. Onderzoek hierover is gewenst.

## 5.2. De correlaties in de 'standaardpotproef' (1960)

De standaardproef werd uitgevoerd met 88 gronden van verschillende aard en herkomst. Alle ontvingen een ruime basisbemesting met N en K. In tabel 2 zijn de trajecten vermeld waarbinnen enkele karakteristieke bodemeigenschappen varieerden. Per pot werden 9 pas uitgelopen aardappelspruiten van het ras Bintje geplant, waardoor een regelmatig gewas werd verkregen, dat zeer gevoelig op verschillen in de fosfaattoestand van de grond reageerde.

Het verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof van de in vrij jonge staat geoogste planten werd per grondsoort vastgesteld (fig. 1). Bij zandgrond was dit verband nauw. Het kan worden weergegeven door een zwak gebogen lijn (fig. 1a). Er was praktisch geen verschil tussen de gronden afkomstig uit het noorden of het zuiden van het land. Bij veenkoloniale gronden was het verband eveneens goed (fig. 1b).

Ook bij zeekleigronden was de correlatie hoog (fig. 1c), hoewel er misschien geringe verschillen waren tussen die uit Zeeuws-Vlaanderen en Friesland: op één uitzondering na liggen de stippen voor Zeeuws-Vlaanderen links van de gemiddelde lijn, die voor Friesland alle rechts ervan. Dit zou betekenen dat een bepaald  $P_2O_5$ -gehalte van het loof bij de Zeeuwse gronden correspondeert met een Pw-getal dat 8 à 10 lager is dan dat op Friese gronden bij een gelijk  $P_2O_5$ -gehalte van het gewas. Eenzelfde verschil werd waargenomen bij de proefvelden waarvan de grond was genomen voor deze potproef. Het zal echter blijken, dat er in andere proefseries geen verschil tussen noordelijke en zuidwestelijke kleigronden te vinden was (zie 5.3.6. en 5.3.7.). Bij de rivierkleigronden (fig. 1d) en de lössgronden (fig. 1e) was de correlatie eveneens hoog.

Het streven om een methode te maken die voor alle grondsoorten gelijkwaardige uitkomsten geeft, heeft geen nadeel opgeleverd voor de correlatie binnen de grondsoorten. Integendeel, er bleken ook binnen de grondsoorten nog aanwijzingen te zijn dat het Pw-getal sterker met het  $P_2O_5$ -gehalte correleert dan andere varianten van de waterextractiemethode, waaronder het P-getal. De correlatie is in alle gevallen zo hoog dat niet kan worden verwacht dat andere factoren, zoals pH,  $CaCO_3$ -, klei- of humusgehalte nog een grote invloed kunnen hebben (zie hoofdstuk 6). Een deel van de nog voorkomende afwijkingen komt bovendien op rekening van analysefouten bij het grond- en gewasonderzoek. Ook is het  $P_2O_5$ -

Tabel 2. Variatietrajecten van enige karakteristieke eigenschappen van de in de potproef van 1960 gebruikte gronden.

	Aan- tal gron- den	Orga- nische stof (%)	Afslib- bare delen < 16 $\mu$ m (% w/w)	CaCO <sub>3</sub> (%)	pH-KCl	P-AL
<b>Zandgronden/Sandy soils</b>						
Drenthe	9	5,4-11,2	—		3,95-4,86	13-43
Noord-Brabant	7	3,2- 4,5	—		4,84-5,73	25-64
Noord-Limburg	6	2,4- 5,5	—		4,28-5,67	13-50
Totaal/Total	22	2,4-11,2	—		3,95-5,73	13-64
<b>Zeekleigronden/Marine clays</b>						
Noord-Holland	15	1,3- 7,0	11-96	0,10-17,6	6,49-7,43	15-48
Zuid-Holland	4	3,4- 8,0	35-38	0,14- 6,8	6,38-7,21	21-33
Zeeuws Vlaanderen	8	1,5- 2,8	15-42	0,10-13,8	6,44-7,60	15-74
Noord-Friesland	9	1,9- 3,4	21-37	0,32- 8,7	6,79-7,32	22-93
Noord-Groningen	1	4,8	54	6,7	7,10	44
Totaal/Total	37	1,3- 8,0	11-96	0,10-17,6	6,38-7,60	15-93
<b>Rivierklei/River clay</b>						
Zuid-Gelderland	9	1,6- 5,3	25-69	0,00- 3,2	4,10-6,86	8-51
<b>Löss/Loess</b>						
Zuid-Limburg	10	1,8- 3,6	21-32	0,00- 0,4	4,39-6,72	13-62
<b>Veenkoloniale gronden/ Sand-peat mixtures</b>						
Zuid-Groningen	2	20,4-25,1	—		4,78-4,90	16-31
Noord-Overijssel	8	16,0-27,3	—		4,25-4,93	24-61
Totaal/Total	10	16,0-27,3	—		4,25-4,93	16-61
Alle gronden/All soils	88	1,3-27,3	< 11-96	0,00-17,6	3,95-7,60	8-93
	Num- ber of soils	Organic matter (%)	Par- ticles < 16 $\mu$ m (% w/w)	Carbonate (%)	pH-KCl	P-AL.

Table 2. Ranges of some soil characteristics in the 1960 standard pot trials.

gehalte van de plant geen absolute maat voor de beschikbaarheid van het bodemfosfaat: het kan beïnvloed zijn door kleine verschillen in het ontwikkelingsstadium van de planten of door verschillen in beschikbaarheid van andere voedings-elementen in de diverse gronden.

In hoeverre het gelukt is om bij verschillende grondsoorten met één methode dezelfde samenhang te vinden met het  $P_2O_5$ -gehalte van de plant, blijkt uit fig. 1f. Vooral in het middengedeelte van de lijnen, dat het nauwkeurigst is bepaald, is de

Fig. 1. Verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof voor verschillende gronden (a-e) en voor alle gronden samen (f). Potproef in 1960 zonder fosfaatbemesting.

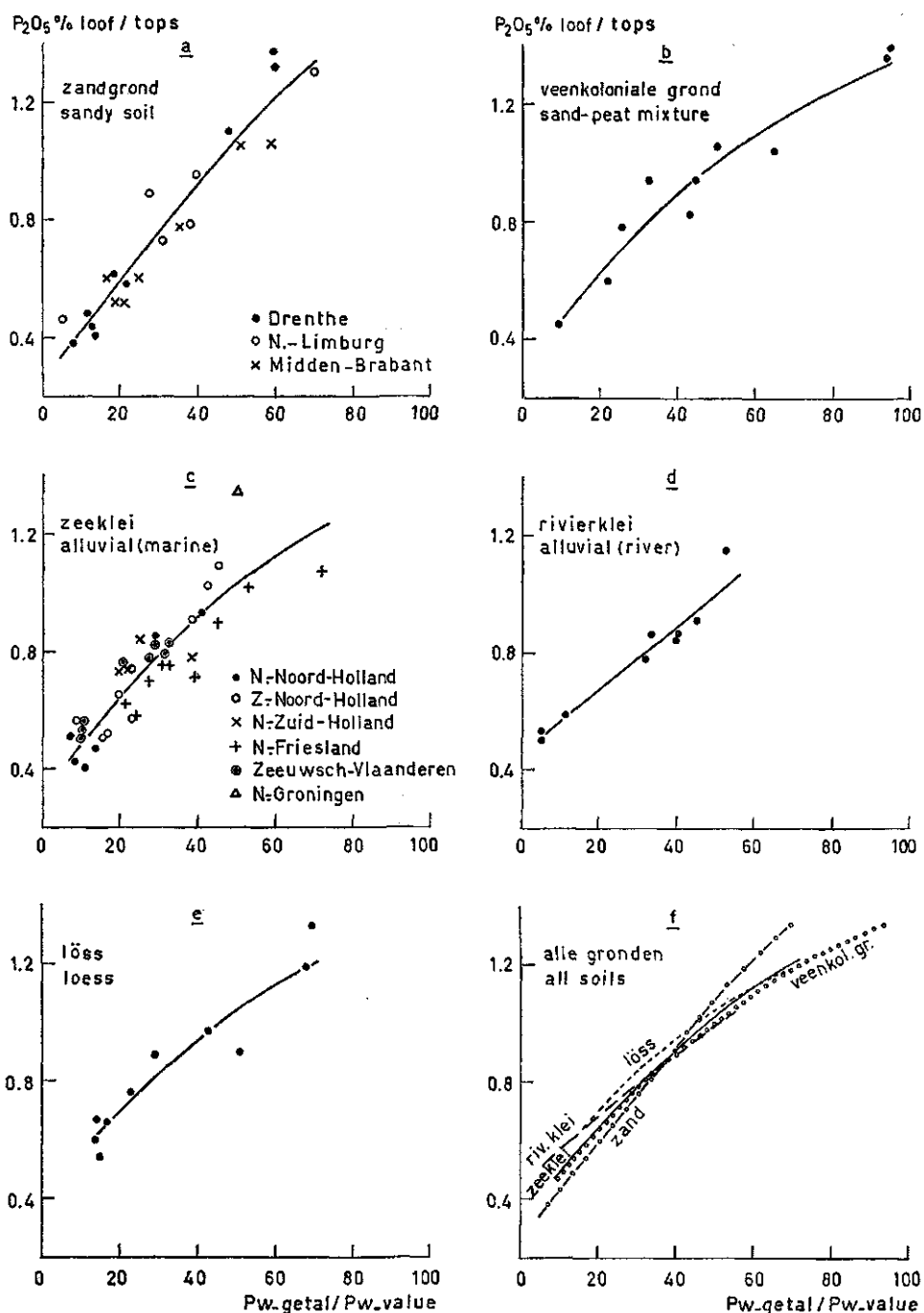


Fig. 1. Relation of Pw value with percentage phosphate in potato tops for different soils (a-e) and for all soils together (f). Pot trial 1960, no phosphate dressing.

Fig. 2. Verband tussen Pw-getal (a), resp. P-AL-getal (b) en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof; de gegevens uit fig. 1a-e bijeen genomen. Potproef in 1960 zonder fosfaatbemesting.

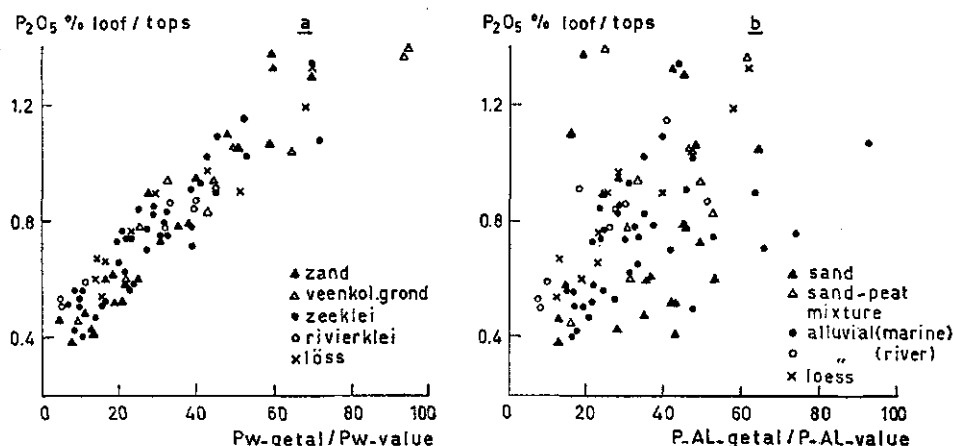


Fig. 2. Relation of Pw value with percentage phosphate in potato tops for all soils together, from Fig. 1a-e (a) and with P-AL value (b). Standard pot trial 1960, no phosphate dressing.

overeenstemming zeer bevredigend. Het verschil bedraagt daar niet meer dan 3 à 4 eenheden Pw-getal. Het steilere verloop bij de zandgronden wijst misschien op een relatief wat betere beschikbaarheid van het bodemfosfaat bij fosfaatrijke zandgronden. Veenkoloniale grond gedraagt zich niet of weinig afwijkend, in tegenstelling tot wat met het P-getal en met een Pw-bepaling zonder voorbevochtiging van de grond werd gevonden.

Een vergelijking tussen het Pw-getal en het P-AL-getal is gemaakt in fig. 2, waarin alle resultaten van de potproef zijn opgenomen. Het verschil is groot: het verband van het P-AL-getal met  $P_2O_5$ -gehalte in het loof is slecht, vooral bij zand en veenkoloniale gronden. Ook bij kleigronden is de correlatie zwak. Alleen bij lössgronden is het verschil gering; Pw- en P-AL-getal zijn hier sterk gecorreleerd en beide zijn bruikbaar. Het Pw-getal heeft echter het voordeel dat het goed vergelijkbaar is met dat van andere grondsoorten.

**Conclusie** Het is gelukt om een variant van de waterextractiemethode te ontwerpen (het Pw-getal), waarmee op de verschillende grondsoorten in een potproef met aardappelen vergelijkbare resultaten worden verkregen. Binnen elke grondsoort is de correlatie met het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof gelijk aan of zelfs iets hoger dan de correlatie met andere varianten van de waterextractiemethode. Uit de hoge correlatie blijkt dat andere bodemfactoren geen grote invloed kunnen hebben op de landbouwkundige betekenis van het Pw-getal.

### 5.3 Toetsing van de variant van de waterextractiemethode (het Pw-getal) aan onafhankelijk verkregen proefuitkomsten

De uitkomsten van de standaardproef doen vermoeden, dat het Pw-getal een goede karakterisering geeft van de beschikbaarheid van het bodemfosfaat voor de plant.

Een onafhankelijke toetsing aan ander materiaal, dat niet voor de ontwikkeling van de methode heeft gediend, was nodig om dit te bevestigen. Hiervoor konden in het verleden verrichte pot- en veldproeven worden gebruikt, waarvan de grondmonsters nog in de verzameling aanwezig waren. De verschillende series zullen stuk voor stuk worden besproken.

#### 5.3.1 Proefvelden op verschillende grondsoorten in interprovinciaal verband (1960)

*Opzet van de proeven* Het proefplan was opgesteld door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid; de uitvoering berustte bij de Dienst van de Rijkslandbouwvoorlichting (Interprovinciale serie 30). De resultaten hebben betrekking op 49 proefvelden met aardappelen (Bintje), verdeeld over de consulentschappen Friesland (8 op zeeklei), Zuidelijk Noord-Holland (3 op zeeklei), Noordelijk Noord-Holland (3 op zeeklei), Zeeuws-Vlaanderen (8 op zeeklei), Zuidelijk Gelderland (7 op rivierklei), Midden-Brabant (8 op zand) en Zuid-Limburg (7 op löss). Op de proefvelden werd fosfaat als dubbelsuperfosfaat toegediend naar 30, 70, 120, 200 en 300 kg  $P_2O_5$  per ha in duplo; zonder fosfaat in viervoud.

Opgemerkt moet worden dat deze proef niet volledig onafhankelijk van de standaardpotproef is. Immers de gronden van deze proefvelden vormen de grootste helft van de in de potproef gebruikte gronden. Het verschil ligt in de uitvoering in het veld. Het is interessant de uitkomsten met die van de gelijktijdig genomen potproef te vergelijken.

De uitkomst van de opbrengstbepaling en het chemisch gewasonderzoek gaf weinig inlichtingen. De reactie van de opbrengsten was vrij gering, de standaardafwijking vrij groot (per veldje van het proefveld gemiddeld 6,2 %, normaliter 3 à 4 %). Bij het chemische onderzoek van begin juli genomen loofmonsters werden steeds lage en weinig gedifferentieerde  $P_2O_5$ -gehalten gevonden. Verschillen tussen niet en wel bemeste objecten waren gering, wat afwijkt van de normale ervaring en van de uitkomsten van de potproef. Dit is waarschijnlijk aan het weer toe te schrijven: 1960 begon droog en sloot aan op een zeer droog voorafgaand jaar (eind juni sloeg het echter volledig om en werd het extreem nat). Het is aannemelijk dat de lage fosfaatgehalten van de planten toegeschreven moeten worden aan een bemoeilijkte opname in droge grond. De onregelmatigheid van de opbrengsten kan zowel aan droogte als aan te grote vochtigheid worden geweten.

Verschillen in stand van het nog jonge gewas werden midden juni door standcijfers (1-10) vastgelegd. Het ontwikkelingsstadium liep op de diverse velden nogal uiteen, wat de onderlinge vergelijkbaarheid niet ten goede komt; verschillen zijn

namelijk in een jong stadium het duidelijkst. Desondanks bleken de cijfers bruikbaar te zijn.

De gemiddelde verschillen in stand tussen het zwaarst bemeste en de niet bemeste veldjes van elk proefveld zijn met het Pw-getal in verband gebracht (fig. 3a).

De uitkomst is ondanks het genoemde bezwaar nog verrassend goed. Zo blijkt dat het gewas op alle 22 proefvelden met een Pw-getal van 25 of lager positief op de bemesting reageerde. Op 9 proefvelden met een Pw-getal hoger dan 44 was dit nauwelijks het geval. Een vergelijking met het P-AL-getal (fig. 3b) valt sterk ten gunste van het Pw-getal uit.

De waarnemingen van verschillende grondsoorten liggen gelijk gespreid. Hierin bestaat overeenstemming met het resultaat van de gelijktijdig genomen potproef (zie 5.2).

Wel werd er, evenals bij de potproef (vgl. fig. 1c), verschil tussen de kleigronden van Noord-Friesland en van Zeeuws-Vlaanderen gevonden. Hoewel het gewas in Friesland belangrijk verder ontwikkeld was, waardoor de vergelijking niet zuiver is, is een verschillende betekenis van het Pw-getal in beide gebieden niet uitgesloten. Het verschil lijkt namelijk vrij belangrijk: aan een getal 20 in Zeeuws-Vlaanderen zou ongeveer gelijke waarde moeten worden toegekend als aan het getal 30 in Friesland, een zelfde verschil als bij de potproef werd gevonden. De kleine verschillen in klei- of  $\text{CaCO}_3$ -gehalte kunnen hiervoor niet aansprakelijk worden gesteld. Daar staat tegenover dat de waarde van het Pw-getal in een in 1959

Fig. 3. Verband tussen Pw-getal (a), resp. P-AL-getal (b) en visueel bepaalde standverschillen bij zwaar en niet met fosfaat bemeste aardappelen. Veldproef in 1960 met verschillende grondsoorten.

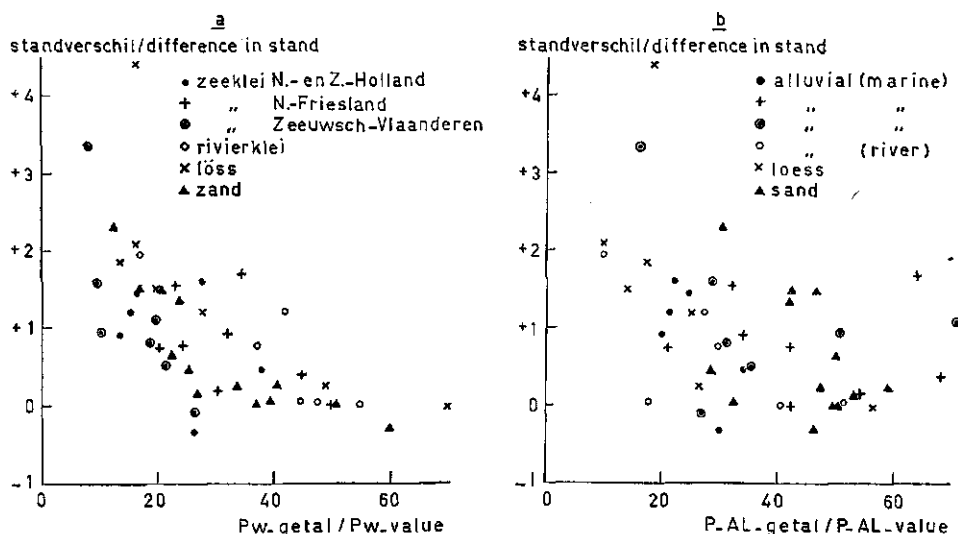


Fig. 3. Relation of Pw value (a) and P-AL value (b) with difference in visual score (scale 1 to 10) of 'Bintje' potato plants dressed with 300 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  per ha compared with control plots. Field trials 1960.

verrichte potproef bij kleigronden uit geheel Zeeland niet anders was dan bij kleigronden uit Groningen (zie 5.3.7).

De reden van de zwakke reactie van de opbrengst kan zijn dat het gewas op de onbemeste veldjes de achterstand in groei die midden juni werd waargenomen, later heeft ingehaald. Aan het onregelmatige groeiverloop is vermoedelijk ook de vrij grote standaardafwijking toe te schrijven.

*Conclusie* Bij deze serie proefvelden heeft alleen de standbeoordeling waardevolle gegevens opgeleverd. De betrekkelijke onnauwkeurigheid van deze bepaling in aanmerking genomen is de correlatie van het Pw-getal met door bemesting veroorzaakte standverschillen bevredigend. Er werden geen verschillen tussen grondsoorten gevonden, behalve een misschien niet toevallig verschil tussen Zeeuwse en Friese zeekleigronden. Ook in de standaardpotproef was dit waargenomen. In principe is er redelijke overeenstemming tussen het resultaat van de veldproef en dat van de potproef.

### 5.3.2 Potproeven en proefvelden op zandgrond (1958)

*Algemene gegevens* Het onderzoek in 1958 in Drenthe had betrekking op 29 proefvelden met aardappelen, ras Voran. Fosfaat werd als dubbelsuperfosfaat toegediend, op elk proefveld naar 30, 70, 120 en 200 kg/ha in duplo, zonder bemesting in viervoud. In tegenstelling tot het onderzoek in 1960 onder 5.3.1, dat in opzet vrijwel gelijk was, was de regenval regelmatig over het seizoen verdeeld. Gelijktijdig werd met grond van 24 van de 29 velden een potproef verricht waarvan het loof groen werd geoogst.

Ontginningsgronden verschillen in het aandeel dat de oorspronkelijke heideplag in de bouwvoor inneemt. Ondiep ontgonnen gronden met een groot aandeel hiervan zijn zwart en hun vermogen om fosfaat vast te leggen is zwak. Die welke groten-deels uit zand van de B-horizon bestaan, zijn bruin en gekenmerkt door een sterke fixatie van het fosfaat. Het humuspercentage varieerde van 5,1 tot 18,4 %, de pH-KCl van 3,5 tot 5,7.

*Uitkomsten van de potproeven* De voorraad fosfaat bij de bruine en de zwarte gronden verschilde gemiddeld weinig: P-AL = 28 uit 9 waarnemingen tegenover P-AL = 30 uit 15 waarnemingen. Dit wijst erop dat de bemesting in het verleden in het algemeen weinig heeft verschild. De beschikbaarheid van het fosfaat liep echter zeer uiteen: Pw-getallen gemiddeld respectievelijk 14,5 en 40,5. Loofopbrengst en  $P_2O_5$ -gehalte zijn sterk gecorreleerd met het Pw-getal (fig. 4a, 4b).

De Pw-getallen van bruine en zwarte gronden overlappen elkaar weinig. De uitkomsten sluiten echter goed op elkaar aan. Dit wijst erop dat het vermoedelijk voor de waardering van het Pw-getal weinig uitmaakt of het in een zwak of in een sterk fixerende grond is vastgesteld.

De P-AL-methode schiet ernstig tekort (fig. 4c).

Fig. 4. Verband tussen Pw-getal en opbrengst aan aardappelloof (a), tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof (b) en tussen P-AL-getal en opbrengst aan aardappelloof (c). Potproef in 1958, op zowel zwak fosfaatfixerende zwarte als sterk fosfaatfixerende bruine gronden zonder fosfaatbemesting.

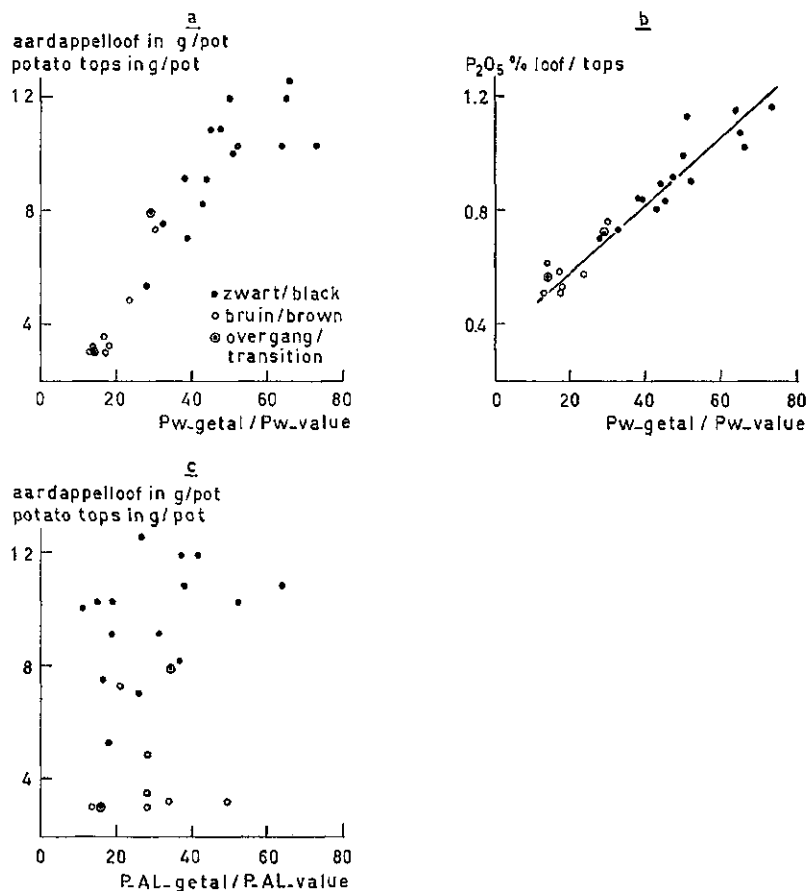


Fig. 4. Relation of Pw value with yield of potato tops (a) and with their percentage phosphate (b) and of P-AL value with yield of tops (c). Pot trial 1958, black sandy soils of low phosphate-fixing capacity and brown sandy soils of high phosphate-fixing capacity.

**Uitkomsten van de proefvelden** De fout van de opbrengst was in 1958 belangrijk kleiner dan die van het proefveldonderzoek in 1960 (zie 5.3.1); de standaardafwijking van de opbrengst per veldje was 3,7 % (6,2 % in 1960).

Het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof (tijdens de bloei) vertoonde een vrij hoge correlatie met het Pw-getal (fig. 5a), hoewel geringer dan bij de potproef (vgl. fig. 4b). Onder normale weersomstandigheden lijken de uitkomsten in het veld dus vrij weinig te verschillen van die in een potproef.

Standverschillen in het jonge gewas waren een goed bruikbare maat voor de



Fig. 5. Verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappeltop zonder fosfaatbemesting (a) en tussen Pw-getal en standverschil bij zwaar en niet met fosfaat bemeste aardappelen (b). Veldproef in 1958, op zwarte en bruine zandgrond.

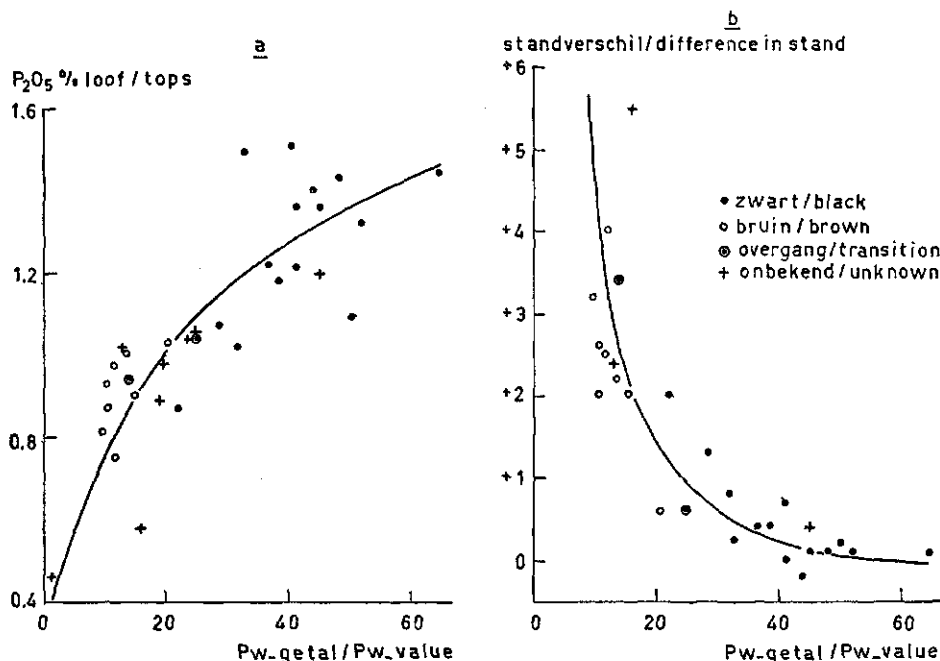


Fig. 5. Relation of Pw value with percentage phosphate in potato tops on plots without phosphate dressing (a) and with difference in crop score between potato plots amply dressed with phosphate and controls (b). Field trials 1958, black and brown sandy soils.

beschikbaarheid van het bodemfosfaat (fig. 5b). De samenhang was belangrijk sterker dan in 1960 (vgl. fig. 3a), wat behalve aan het gelijkmatige weer te danken kan zijn aan het feit dat alle proefvelden in 1958 in één gebied lagen en kort na elkaar konden worden bezocht.

Een duidelijke correlatie werd ook gevonden tussen het Pw-getal en de zonder fosfaatbemesting verkregen opbrengsten in procenten van de opbrengst bij de zwaarste bemesting (fig. 6a). De aansluiting tussen bruine en zwarte gronden lijkt wat minder goed dan in de voorgaande gevallen, wat mogelijk verklaard kan worden door de nog te lage bemesting met 200 kg/ha, waardoor op bruine gronden vermoedelijk geen maximale opbrengsten zijn verkregen, en de relatieve opbrengsten iets te hoog kunnen zijn uitgevallen. Voor de zwarte gronden was deze bemesting zeker voldoende.

De opbrengstresultaten bevestigen de conclusies uit de standaardwaarnemingen (fig. 5b). Het blijkt dus dat de in een vrij vroeg stadium bepaalde standverschillen in deze proef een bruikbare maat zijn geweest voor het toetsen van de waarde van grondonderzoek. In dit jaar kwamen deze verschillen ook in de opbrengst tot uiting, vermoedelijk doordat later geen storende omstandigheden zijn opgetreden.

Fig. 6. Verband tussen Pw-getal (a), resp. P-AL-getal (b) en de relatieve opbrengst aan aardappelen (zonder bemesting met fosfaat in percentage van de opbrengst met fosfaatbemesting). Veldproef in 1958 op zandgrond.

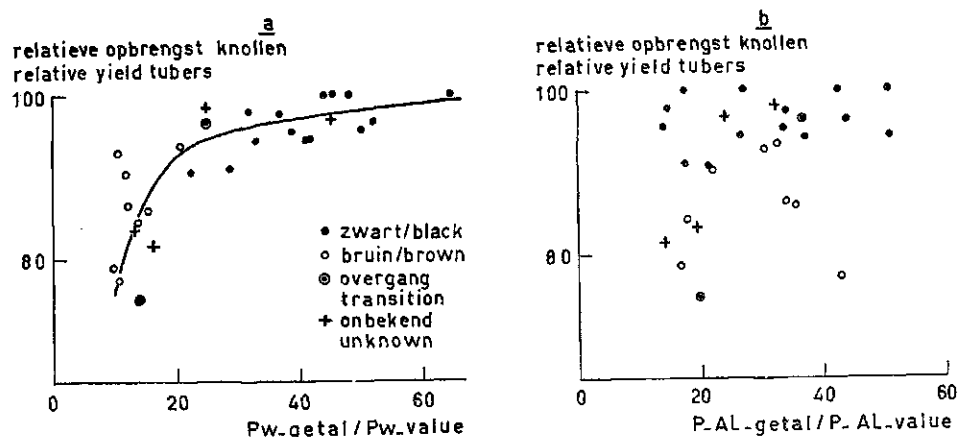


Fig. 6. Relation of Pw value (a) and P-AL value (b) with relative yields of tubers (defined as yield of control plots as a percentage of yield with 200 kg  $P_2O_5$  per ha). Field trials 1958, sandy soils.

De ontoereikendheid van de P-AL-bepaling blijkt opnieuw uit het zwakke verband met de relatieve opbrengsten (vgl. fig. 6b met fig. 6a).

**Conclusie** Het Pw-getal was in een potproef met Drentse zandgrond sterk gecorreleerd met de reactie van aardappelen, waarbij de indruk werd gevestigd dat het weinig uitmaakte of het zwak of sterk fosfaatfixerende gronden betrof.

Onder vrij normale weersomstandigheden zijn op proefvelden met aardappelen weinig van de potproef verschillende uitkomsten verkregen.

Standverschillen op de proefvelden bleken eveneens een goede maat voor de beschikbaarheid te zijn en duidelijk met het Pw-getal te correleren.

Er is eveneens een duidelijke correlatie met de zonder bemesting verkregen relatieve opbrengsten. In vergelijking met het Pw-getal is het P-AL-getal zowel in pot- als veldproef sterk tekort geschoten.

### 5.3.3 Proefvelden op zand- en op veenkoloniale grond (1959)

**Opzet van de proeven** De opzet van de proefvelden was dezelfde als die uit 1958 (zie 5.3.2): aardappelen, ras Voran, objecten zonder bemesting in viervoud, met dubbelsuperfosfaat in hoeveelheden van 30, 70, 120 en 200 kg/ha in duplo. Ze omvatten 18 proefvelden op zandgrond in Drenthe plus 26 op veenkoloniale grond, in interprovinciaal verband verzorgd door de Rijkslandbouwvoorlichtingsdienst (serie 27), in Zuid-Groningen (4), West-Drenthe (7), Oost-Drenthe (7), Oost-Overijssel (4) en West-Overijssel (4).

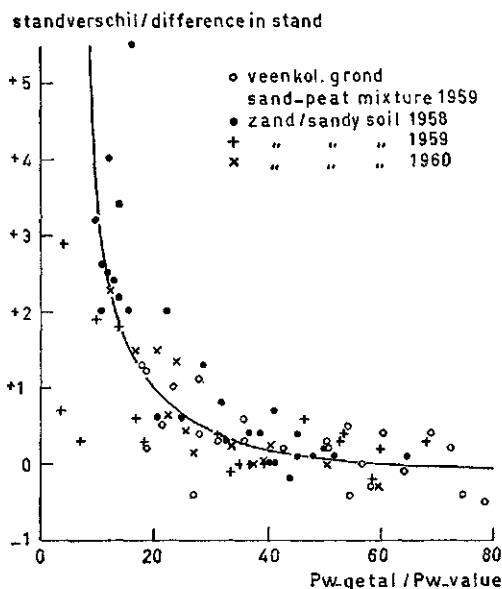


Fig. 7. Verband tussen Pw-getal en visueel getaxeerde standverschillen tussen zwaar en niet met fosfaat bemeste jonge aardappelplanten. Veldproef in 1959 op veenkoloniale grond. Ter vergelijking zijn de gegevens op zandgrond uit de jaren 1958 en 1960 opgenomen.

Fig. 7. Relation of Pw value with improvement in young potato stands (scale 0-10) after phosphate fertilization. Field trial 1959, sand-peat mixture. For comparison the 1958 and 1960 data from sandy soils are included.

**Uitkomsten** De nauwkeurigheid van de proeven was niet groot: de standaardafwijking van de opbrengsten per veldje bedroeg 6,1 % (normaliter 3 à 4 %). De geringe reactie van de opbrengst hing slechts zwak samen met het Pw-getal. Ook tussen het Pw-getal en het over het algemeen lage  $P_2O_5$ -gehalte van het loof (zonder fosfaatbemesting) was de correlatie slechts matig. Mogelijk heeft de grote droogte een storende invloed gehad.

De standverschillen tussen niet en ruim bemeste veldjes werden tegen het Pw-getal uitgezet, waarbij de resultaten van de proeven uit 1958 op zandgrond (zie 5.3.2) en uit 1960 (zie 5.3.1) eveneens zijn opgenomen (fig. 7). De resultaten waren in 1959 wat onregelmatiger maar passen ongeveer in het beeld.

**Conclusie** De resultaten waren minder nauwkeurig maar wijken niet sterk af van die van de proeven uit 1958 en 1960 op zandgrond. Er werd geen duidelijk verschil gevonden tussen zandgrond en veenkoloniale grond.

#### 5.3.4 Potproef met zandgronden (1952)

**Inleiding** In een uitgebreide potproef met 183 verschillende zandgronden en 35 veenkoloniale gronden, opgezet ter vergelijking van de P-getal- en de P-citriemethode, werden met het P-getal belangrijk betere resultaten verkregen. De uitkomst versterkte de voorkeur voor water als extractiemiddel.

**Opzet van de proef** De grondmonsters, die uit het hele land waren bijeengebracht, zijn in Mitscherlich-potten onderzocht. Daarbij werd alleen een basisbemesting met

Fig. 8. Verband tussen Pw-getal en opbrengst aan aardappelloof (a), het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof (b) en de opbrengst aan haverloof (c). Potproef in 1952 met zand- en veenkoloniale gronden van uiteenlopende herkomst zonder fosfaatbemesting.

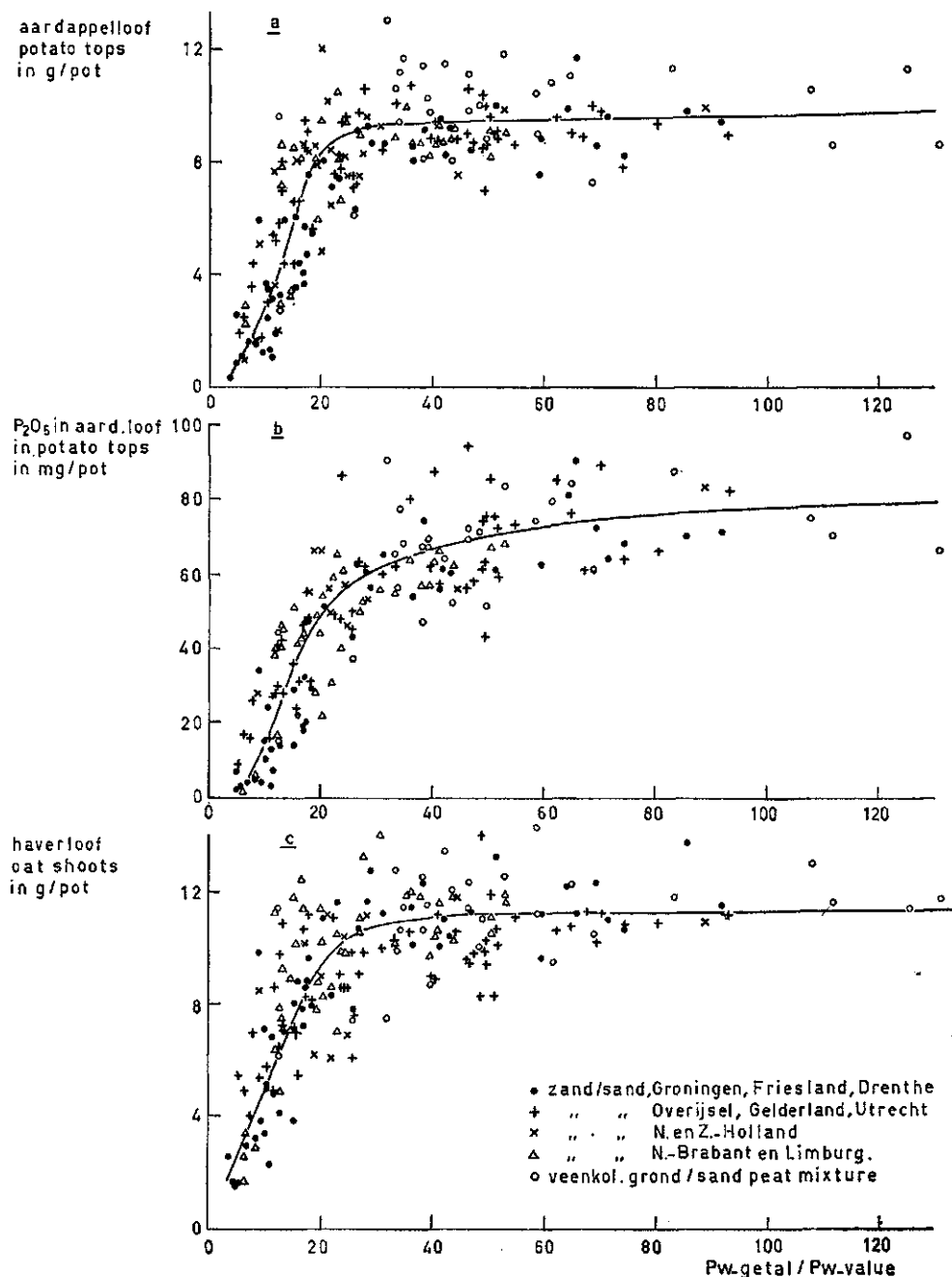


Fig. 8. Relation of Pw value with yield of potato tops (a), percentage phosphate in tops (b) and yield of oat shoots (c). Pot trial 1952, sandy soils and sand-peat mixtures, no phosphate dressing.

N en K gegeven. Als gewassen werden eerst haver, daarna aardappelspruiten (Eigenheimer) verbouwd, waarvan het loof in beide gevallen groen werd afgesneden. Doordat de grond van sommige monsters verbruikt was kon het Pw-getal slechts in 197 gevallen, waarvan 29 veenkoloniale gronden, worden bepaald.

*Uitkomsten* Aardappelen en haver reageerden in opbrengst sterk op de verschillen in Pw-getal (fig. 8a en 8c). Bij beide gewassen was de correlatie met het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof niet beter, eerder iets geringer, dan met de opbrengsten. Deze resultaten zijn niet afgebeeld.

De opbrengsten van aardappel- en haverloof stegen tot een Pw-getal = 20 bijna rechtlijnig; boven Pw-getal = 30 trad geen verdere stijging op. In dit horizontale gedeelte van de lijn, waar de verschillen in fosfaattoestand dus geen invloed meer hebben op de opbrengst, verschilden de opbrengsten nog vrij belangrijk onder invloed van andere, niet nader geanalyseerde factoren. Het spreekt vanzelf dat deze factoren ook de spreiding in het linkergedeelte van deze figuren hebben vergroot.

De opbrengsten van de veenkoloniale gronden lagen in doorsnee iets hoger (de  $P_2O_5$ -gehalten echter iets lager) dan die van de zandgronden. Lage waarden van het Pw-getal kwamen bij veenkoloniale gronden bijna niet voor, zodat niet kon worden nagegaan of de aardappelen op beide gronden al dan niet verschillend hadden gereageerd. Uit fig. 8b, waarin de opgenomen hoeveelheid  $P_2O_5$  (het produkt van oogstopbrengst en  $P_2O_5$ -gehalte) tegen het Pw-getal is uitgezet, krijgt men niet de indruk dat er een verschil tussen de grondsoorten bestond.

De gevonden correlaties met het Pw-getal bleken nog iets sterker te zijn dan destijds met het P-getal waren gevonden.

*Conclusie* De met het Pw-getal verkregen resultaten waren in het bijzonder bij aardappels zeer goed en zelfs nog iets beter dan met het P-getal, dat destijds belangrijk betere resultaten had gegeven dan het P-citr-getal.

Er kon bij dit materiaal niet duidelijk worden vastgesteld of de resultaten op veenkoloniale grond dezelfde waren als op zandgronden, maar er waren geen aanwijzingen voor het tegendeel.

### 5.3.5 Potproef met sterk ijzerhoudende zandgronden (1956, 1957)

*Inleiding* Het was opgevallen dat gewassen op sterk ijzerhoudende gronden, in de nabijheid van beken en riviertjes, vaak sterk op fosfaatbemesting reageren en dat P-citr en P-AL slechte aanwijzingen geven over de beschikbaarheid van het fosfaat in de grond. Daarom werd in 1956 een potproef genomen met sterk in ijzergehalte uiteenlopende gronden. Na elkaar werden haver en aardappelen getoetst. Er werd niet met fosfaat bemest.

*Uitkomsten* Voor beide gewassen werd een duidelijke correlatie gevonden tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof. Fig. 9a toont die voor het aardappelloof;

Fig. 9. Verband tussen Pw-getal (a), resp. P-AL-getal (b) en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof, en verband tussen Pw-getal en korrel + stro-gewicht. Potproeven (a) en (b) in 1956, (c) in 1957 op zandgrond met verschillend  $Fe_2O_3$ -gehalte.

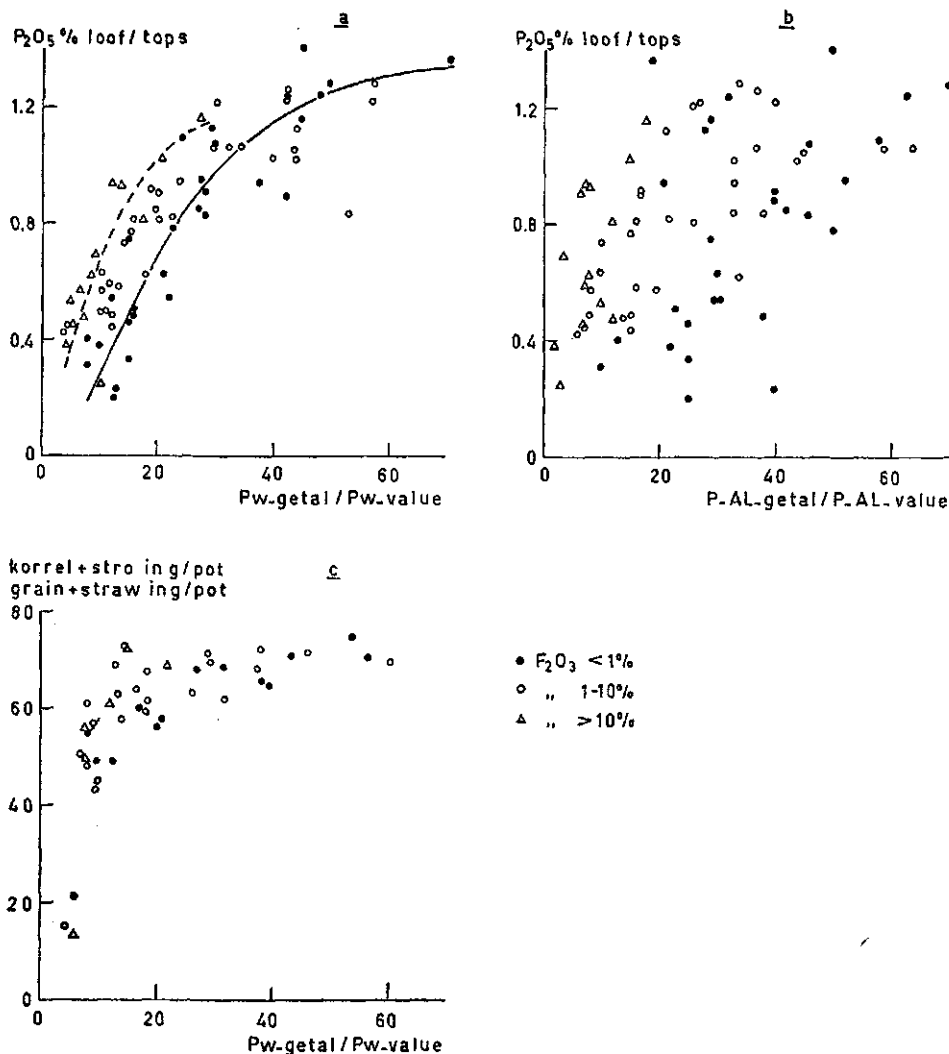


Fig. 9. Relation of Pw value (a) and of P-AL value (b) with percentage phosphate in potato tops in 1956 pot trial and of Pw value with height of oat grain and straw per pot (c), trial in 1957. All soils with different  $Fe_2O_3$  contents.

een overeenkomstig beeld werd bij haver voor de opbrengst aan droge stof gevonden, maar voor de opbrengst van aardappelloof was de spreiding wat groter.

Uit fig. 9a blijkt verder dat de waarde van het Pw-getal afhankelijk is van het ijzergehalte. De beschikbaarheid van het bodemfosfaat is bij sterk ijzerhoudende gronden beter dan door het Pw-getal, beoordeeld volgens het gedrag op andere zandgronden, wordt aangegeven. Een Pw-getal van 15 op gronden met meer dan

10 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  correspondeert ongeveer met een Pw-getal van 25 op andere gronden. Voor gronden waar het  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -gehalte minder extreem hoog is, is het verschil minder groot. Het ideaal van een gelijke waarde is dus op sterk ijzerhoudende gronden niet bereikt. Toch blijkt het Pw-getal tegenover het P-AL-getal sterk in het voordeel te zijn (vgl. fig. 9a en 9b).

In 1957 werd de proef met een deel van de potten voortgezet met haver waarvan korrel en stro samen rijp zijn geoogst. Er is een duidelijke correlatie van Pw-getal met de opbrengst, waarbij het verschil tussen sterk en zwak ijzerhoudende gronden misschien minder groot is (fig. 9c).

*Conclusie* Op sterk ijzerhoudende gronden reageert het gewas tamelijk afwijkend op het Pw-getal: een zelfde getal wijst op deze gronden op een betere beschikbaarheid dan op andere zandgrond.

De correlatie met de reactie van het gewas is echter sterker, en de afwijking veel geringer dan bij het P-AL- en het P-citr-getal.

### 5.3.6 Potproef met zeeklei-, rivierklei- en lössgronden (1957)

*Opzet van de proef* De gronden kwamen uit verschillende delen van het land. Bij hun keuze werd gestreefd naar een ruime spreiding zowel in fosfaat- als in kalktoestand. Enkele bijzonderheden geeft tabel 3. Het proefgewas aardappels werd groen geoogst. Fosfaat werd niet toegediend.

Tabel 3. Trajecten voor het kleigehalte, kalkgehalte en de pH van de klei- en lössgronden.

	Aantal gronden	Afslibbare delen (%)	$\text{CaCO}_3$ (%)	pH-KCl
<i>Zeeklei/Marine clay</i>				
Groningen	25	18-46	0 - 9,6	5,6 -7,45
Noordoostpolder	10	21-44	8,0-11,2	7,3 -7,5
Wieringermeerpolder	15	8-39	5,5-13,3	7,15-7,55
N.W. Noord-Brabant	27	20-52	1,5- 8,4	7,15-7,45
Totaal/Total	77	8-52	0 -13,3	5,6 -7,55
<i>Rivierklei/River clay</i>				
Z. Gelderland	25	21-56	0 - 7,2	3,85-7,4
<i>Löss/Loess</i>				
Z. Limburg	24	23-32	0 - 0,13	4,85-6,7
Alle gronden/All soils	151	8-56	0 -13,3	3,85-7,55
	Number of soils	Particles < 16 $\mu\text{m}$ (% w/w)	Carbonate (%)	pH-KCl

Table 3. Ranges of clay content, carbonate content and pH in clay and loess soils.

**Uitkomsten** Het P-citr-getal had in deze proef met kleigronden een aanmerkelijk gunstiger resultaat gegeven (fig. 10a) dan bij zand- en veenkoloniale gronden. Wegens de hoge onderlinge correlatie geldt hetzelfde voor het P-AL-getal.

Löss onderscheidde zich van de kleigronden: een lijn getrokken door de zwarte

Fig. 10. Verband tussen P-citr-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof zonder correctie (a) en na correctie voor de invloed van verschillend  $CaCO_3$ -gehalte van de grond (b) en verband tussen Pw-getal en dezelfde percentages  $P_2O_5$  zonder voorafgaande correctie (c). Potproef in 1957 met kleigronden van verschillende herkomst zonder fosfaatbemesting.

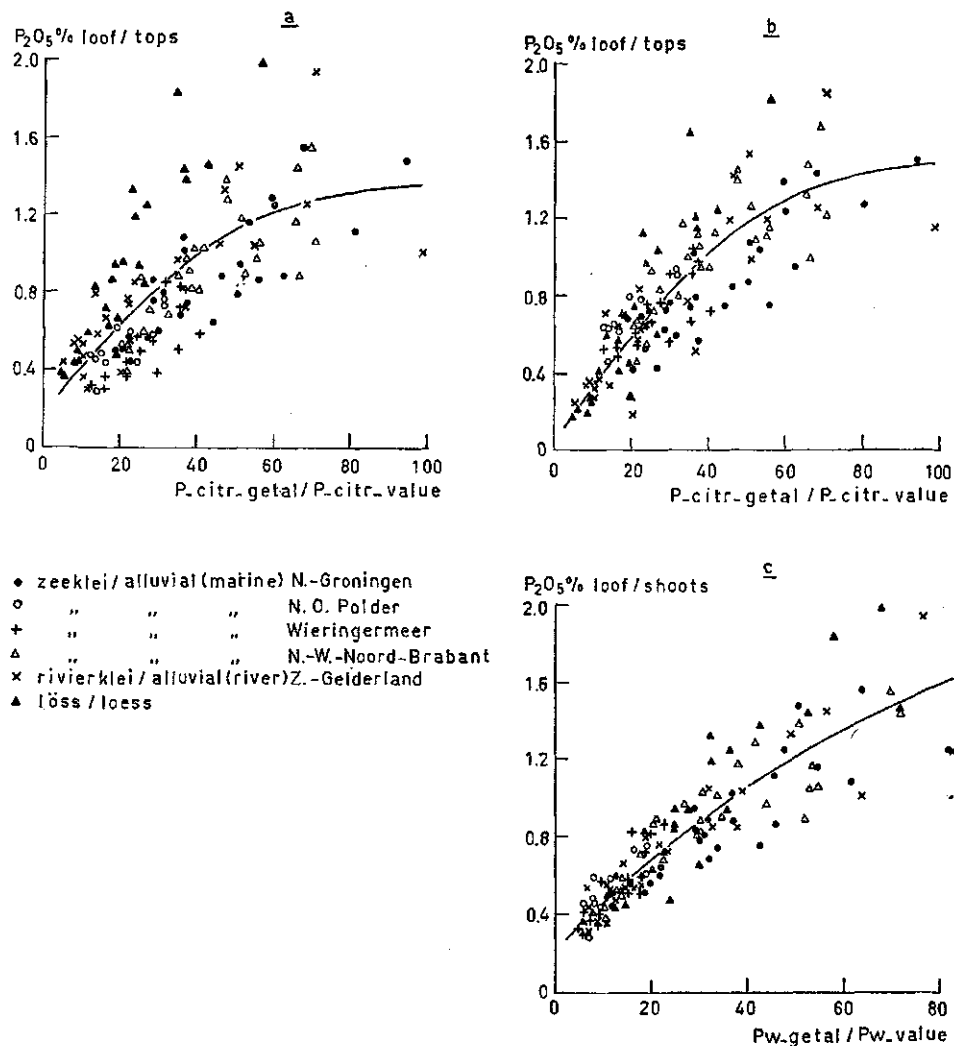


Fig. 10. Relation of P-citr value with percentage phosphate in potato tops without correction (a) and after correction for differences in carbonate content of the soil (b) and relation of Pw value with phosphate in tops not corrected for carbonate in soil (c). Pot trial 1957, loamy soils, no phosphate dressing.



driehoekjes van fig. 10a zou over het gehele traject hoger liggen dan de gemiddelde lijn. Voor deze lössgronden is het verband met het P-citr-getal nauw.

De samenhang tussen P-citr-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof blijkt onder invloed te staan van het  $CaCO_3$ -gehalte van de grond. Als dit hoog is zijn de  $P_2O_5$ -gehalten bij gelijk P-citr lager. Fig. 10b toont de samenhang die verkregen is nadat de  $P_2O_5$ -gehalten voor de invloed van het verschil in  $CaCO_3$ -gehalten zijn gecorrigeerd.

Het verband met het Pw-getal is echter beter dan met het P-citr, ook in het geval waarin het  $P_2O_5$ -gehalte was gecorrigeerd (vgl. fig 10c met 10b). Het Pw-getal geeft dus de beschikbaarheid nauwkeurig aan, onafhankelijk van het  $CaCO_3$ -gehalte van de grond (vgl. 6.2).

De met het Pw-getal op lössgrond verkregen uitkomst verschilt niet van die op andere gronden. Hoewel het hier niet beter voldoet dan P-citr, moet het als een voordeel van Pw-getal worden beschouwd dat de uitkomsten geheel vergelijkbaar zijn met die van andere gronden.

Opgemerkt kan worden dat in dit geval geen verschil in gedrag werd gevonden tussen gronden afkomstig uit het zuidwesten en uit het noordoosten van het land (vgl. 5.2 en 5.3.1).

*Conclusie* Het Pw-getal vertoont een hoge correlatie met de reactie van het gewas, ongeacht grote verschillen in  $CaCO_3$ -gehalte van de grond. Het verschil met P-citr, resp. P-AL, is belangrijk, maar niet zo groot als op zand- en veenkoloniale gronden. Bij interpretatie van uitkomsten volgens deze methoden moet het  $CaCO_3$ -gehalte in aanmerking worden genomen. In het Pw-getal zijn verschillen in het  $CaCO_3$ -gehalte verdisconteerd, zodat de waarde er onafhankelijk van is. Het voldoet beter dan P-citr, zelfs als bij dit laatste de invloed van het  $CaCO_3$ -gehalte in rekening wordt gebracht.

Binnen de groep van lössgronden is Pw-getal niet beter dan P-citr resp. P-AL, maar een voordeel is dat de uitkomsten geheel vergelijkbaar zijn met die van andere gronden, wat bij beide andere methoden niet het geval is.

### 5.3.7 Potproef met zeeklei van sterk wisselend kalkgehalte (1959)

*Opzet van de proef* De proef omvatte 36 zeekleigronden uit Zeeuws-Vlaanderen ( $CaCO_3$  0,0 tot 20,3 %, hoog vooral in de Braakmanpolder), 20 uit de Noordoostpolder ( $CaCO_3$  4,2 tot 9,7 %) en 12 uit Groningen ( $CaCO_3$  0,1 tot 10,6 %). Proefgewas was aardappel. Geen fosfaatbemesting.

*Uitkomsten* De correlatie tussen het Pw-getal en het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof is sterk (fig. 11). Er is geen verschil in reactie tussen de streken van herkomst. Wel zijn de Noordoostpoldergronden aanmerkelijk armer aan fosfaat. Evenmin als in 5.3.6 is dus geen verschil gevonden in de waarde van het Pw-getal tussen gronden uit het zuidwestelijke en het noordelijke zeekleigebied, waarvoor in 5.2 en 5.3.1 een

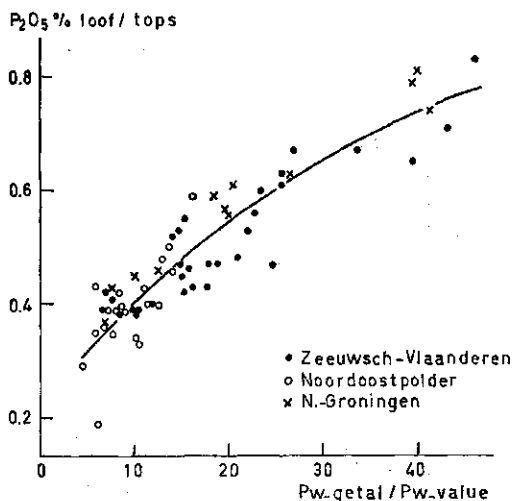


Fig. 11. Verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof. Pot-proef in 1959 met zeekleigrond, sterk uiteenlopend in  $CaCO_3$ -gehalte, zonder fosfaatbemesting.

Fig. 11. Relation between Pw value and percentage phosphate in potato tops. Pot trial 1959, marine alluvial soils of different carbonate content, no phosphate dressing.

aanwijzing was gevonden.

De spreiding bleek niet bepaald te zijn door het  $CaCO_3$ -gehalte (6.2, fig. 17a).

**Conclusie** Op kleigronden met sterk-verschillend  $CaCO_3$ -gehalte is een hoge correlatie van het Pw-getal met de reactie van het gewas gevonden. Er was geen invloed van de herkomst en van het  $CaCO_3$ -gehalte van de grond.

### 5.3.8 Proefveld met verschillen in fosfaat- en kalktoestand (pH) op zandgrond (1940-1946)

**Inleiding** In 1940 zijn op een zandgrond met 8,5 % humus te Trimunt (Pr 642) door voorraadbemestingen met fosfaat en kalk grote verschillen in bodemtoestand aangebracht. Beide stoffen zijn in vijf opklimmende hoeveelheden toegevoegd, zodat er vijf fosfaattoestanden bij vijf kalktoestanden zijn ontstaan (25 objecten in duplo). Hierna is niet meer met fosfaat en kalk bemest.

Het P-citr-getal is bij dezelfde fosfaatbemesting bij hogere pH meer gestegen dan bij lagere. Het vroegere P-getal en het Pw-getal stegen echter bij lage pH belangrijk meer dan bij hoge.

Het is gebleken dat de opname van fosfaat en de opbrengsten van verschillende gewassen nauw correleerden met het P-getal (Van der Paauw, 1950). De landbouwkundige waarde van dit getal was onafhankelijk van de pH (destijds bepaald in suspensie met water). Goede correlaties van P-citr met opbrengsten werden alleen gevonden, als de pH niet verschilde. De waarde van het P-citr-getal (en van het P-AL-getal) is dus sterk door de pH bepaald.

**Uitkomsten** Als voorbeeld is het verband met het  $P_2O_5$ -gehalte van groen gesneden haver (in 1946) genomen. Bij P-citr is de spreiding groot, tenzij naar pH-klasse wordt gedifferentieerd (fig. 12a). De correlatie tussen het Pw-getal en het  $P_2O_5$ -

Fig. 12. Verband tussen P-citr-getal (a), resp. Pw-getal (b) en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof van groene haver bij verschillende waarden van pH- $H_2O$ . Veldproef in 1946 op zandgrond met kalk en fosfaat, als voorraden in 1940 aangebracht.

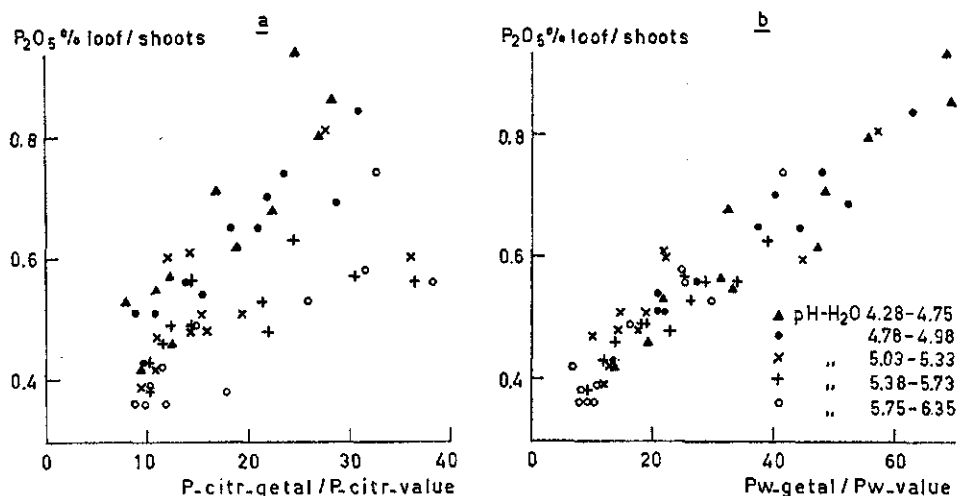


Fig. 12. Relation of P-citr value (a) and Pw value (b) with percentage phosphate in oat shoots at different values of pH- $H_2O$ . Field trial 1946, humic sandy soil dressed with strongly different, high amounts of superphosphate and lime in 1940.

gehalte van het loof is daarentegen hoog, ongeacht de pH (fig. 12b). De invloed van de pH is verwerkt in het Pw-getal.

De spreiding van de stippen is bovendien nog merkbaar kleiner dan vroeger met het P-getal was gevonden.

**Conclusie** De vermindering van de beschikbaarheid van het bodemfosfaat onder invloed van een hogere pH komt wel in het Pw-getal en het P-getal tot uitdrukking, maar niet in het P-citr- (resp. P-AL-) getal. Daarom behoeft bij de interpretatie van het Pw-getal volgens deze proef geen rekening te worden gehouden met de pH (zie echter ook 6.1).

Het Pw-getal heeft nog iets beter voldaan dan het P-getal.

### 5.3.9 Proefvelden met poot aardappelen op zavelgrond in Friesland (1958)

**Opzet van de proef** Op zavelgronden in Friesland werd in 1958 door dr. P. F. J. van Burg een serie van 14 proefvelden met poot aardappelen aangelegd op gronden met een slibgehalte variërend tussen 16 en 39 %, pH-KCl tussen 5,6 en 7,0 en  $CaCO_3$ -gehalte tussen 0 en 6,6 %. De bedoeling was superfosfaat en fosfaat-ammonsalpeter te vergelijken; beide werden gegeven naar 0 en 100 kg/ha  $P_2O_5$ . De desbetreffende grondmonsters zijn niet bewaard gebleven, zodat alleen de des tijds bepaalde waarden voor P-AL en voor het P-getal bekend zijn.

Fig. 13. Verband tussen Pw-getal (a), resp. P-AL-getal (b) en de relatieve opbrengst aan aard-appelen (zonder bemesting met fosfaat in percentage van de opbrengst met zware fosfaat-bemesting). Veldproef in 1958 op zavelgrond.

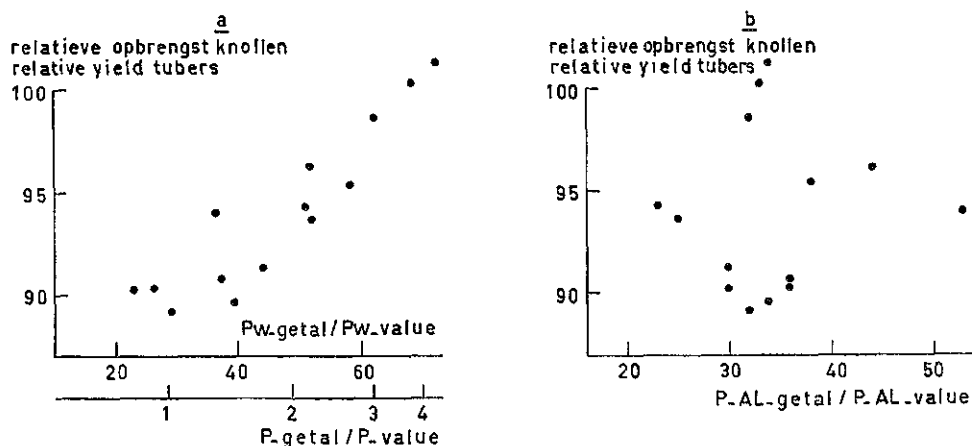


Fig. 13. Relation of Pw value (a) and P-AL value with relative yield of potato tuber (yield without dressing as a percentage of yield with 100 kg  $P_2O_5$  per ha). Field trials 1958, marine loamy sand soils.

**Uitkomsten** Daar de correlatie tussen P-getal en Pw-getal op deze gronden vrij sterk is, kunnen goed benaderde waarden voor het Pw-getal berekend worden (zie de beide horizontale assen in fig. 13a). Deze figuur geeft de samenhang tussen Pw-getal en relatieve opbrengst (de opbrengst zonder fosfaat uitgedrukt in procenten van de opbrengst met fosfaat). Het verband met het P-getal (Pw-getal) is belangrijk beter dan met het P-AL-getal (fig. 13b).

**Conclusie** Op zavelgronden met verschillend slibgehalte, pH en  $CaCO_3$ -gehalte bleek een duidelijk verband te bestaan tussen Pw-getal en relatieve opbrengst zonder fosfaatbemesting, maar vrijwel geen tussen P-AL-getal en deze opbrengst.

#### 5.3.10 Potproef met sterk en zwak fosfaatfixerende zandgronden met verschillende fosfaatmeststoffen (1959 en 1960)

**Inleiding** In een tweejarige potproef werd de werking van natuurlijk fosfaat op zandgrond onderzocht (Van der Paauw, 1965).

Deze proef is verricht met 3 zwarte, zwak fosfaatfixerende en 3 bruine, sterk fosfaatfixerende ontginningsgronden (zie 5.3.2). Voor een gelijke verhoging van het P-getal was veel meer fosfaat nodig op de bruine dan op de zwarte gronden. Behalve in fixerend vermogen verschilden zij ook in pH-KCl, die varieerde tussen 3,78 en 4,97. De gronden werden bij aanvang van de proef bemest met opklimmende hoeveelheden fosfaatmeststof (0, 100, 300, 600 en 1200 kg/ha  $P_2O_5$ ) in de vormen van monocalciumfosfaat, Gafsafosfaat (Hyperfosfaat Reno) en Floridafosfaat. In beide

proefjaren werden na elkaar aardappelen (loof) en rogge verbouwd, die groen zijn geoogst.

De beschikbaarheid van natuurfosfaten werd bepaald door de mate, waarin het gehalte aan in water oplosbaar fosfaat door de meststof was verhoogd. Deze verhoging van het gehalte aan in water oplosbaar fosfaat was sterk afhankelijk van de pH van de grond. Zodra de grond echter eenmaal een bepaald P-getal had, was het voor de opneembaarheid door de plant van geen belang of dit door bemesting met slecht oplosbaar natuurfosfaat, of met een (evt. kleinere) hoeveelheid goed in water oplosbaar fosfaat, of onder invloed van de pH, was verkregen.

De krommen die het verband tussen het P-getal en de reactie van het gewas aangeven, bleken per grondsoort tamelijk sterk te verschillen. Een even hoog P-getal gaf op bruine gronden een betere beschikbaarheid van het fosfaat aan dan op zwarte. Dit verschil, gemeten aan de  $P_2O_5$ -gehalten en de opbrengsten, was groter bij groen geoogste rogge dan bij aardappelen (zie Van der Paauw, 1965, fig. 4-7).

*Uitkomsten* Bij gebruik van de Pw-methode vielen de krommen die met aardappelen in het eerste proefjaar (1959) op bruine en zwarte gronden zijn verkregen, grotendeels samen (niet afgebeeld). Dit was ook in het tweede jaar het geval (fig. 14a).

Bij rogge was er nog een vrij belangrijk verschil, dat in het eerste proefjaar (fig. 14b) iets groter was dan in het tweede (niet afgebeeld). Een Pw-getal van 20 was in dit eerste proefjaar op bruine grond gelijkwaardig aan een Pw-getal van 30 op zwarte grond. Volgens de P-getal-methode was het verschil echter aanmerkelijk groter: een P-getal van 1 op bruine grond correspondeerde met een P-getal van  $2\frac{1}{2}$  tot 3 op zwarte grond (vgl. Van der Paauw, 1965).

De nieuwe methode geeft dus een belangrijk betere overeenstemming bij toepassing op bruine en zwarte zandgronden dan het vroegere P-getal, al is deze bij rogge niet volledig. Dit bevestigt de onder 5.3.2 vermelde resultaten.

Evenals bij toepassing van het P-getal werd gevonden dat zowel werking als nawerking van fosfaatmeststoffen bepaald wordt door de mate waarin het gehalte aan in water oplosbaar fosfaat door de bemesting is verhoogd, m.a.w. zoals door het Pw-getal wordt aangegeven. Deze verhoging was op de zwak fixerende gronden aanmerkelijk groter dan op de sterk fixerende. Monocalciumfosfaat verhoogde dit meer dan Gafsa-fosfaat en dit sterker dan Florida-fosfaat. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in de figuren 14c en 14d, waarin het verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof van in nawerking verbouwde aardappelen (1960) wordt getoond bij een zwak en een sterk fixerende grond (detail van fig. 14a). De hoeveelheid en vorm van de toegediende fosfaatmeststoffen zijn aangegeven. Duidelijk blijkt dat het verband geen invloed ondergaat van de vorm van het fosfaat waarmee eerder was bemest.

Het vraagstuk, welke methode van grondonderzoek toegepast moet worden op met natuurfosfaat bemeste gronden, staat op het ogenblik in Duitsland in het middelpunt van de belangstelling. Met de daar in gebruik zijnde dubbelfactaat-

methode van Egnér-Riehm worden namelijk niet of weinig werkzame fosfaatresten geheel opgelost, zodat de beschikbaarheid van het bodemfosfaat overschat wordt. Dit is ook het geval bij gebruik van de P-AL-methode. Voor Nederland is dit voordeel van de Pw-methode minder groot, daar natuurlijk fosfaat als meststof weinig toepassing heeft gevonden. Het zou echter wel van grote betekenis kunnen

Fig. 14. Verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloopf (a) c.q. roggeploof (b). Potproef in 1959 met zwarte, zwak fosfaatfixerende zandgronden en bruine, sterk fixerende zandgronden; verschillen in Pw-getal zijn ontstaan onder invloed van eerder toegediende bemesting. Details van fig. 14a worden weergegeven in c (zwak fixerend) en d (sterk fixerend), waarin de vorm en hoeveelheid van de eerder gegeven fosfaatbemesting is aangegeven.

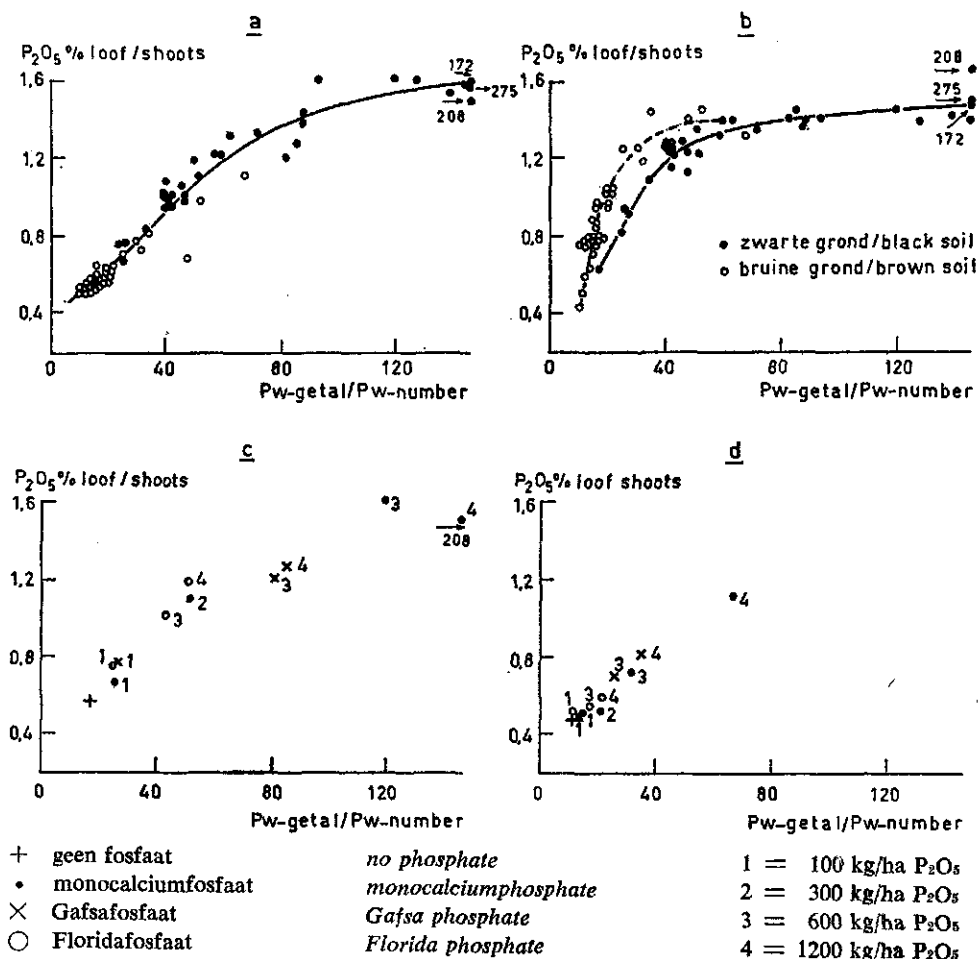


Fig. 14. Relation of Pw-value with percentage phosphate in potato tops (a) c.q. rye shoots (b). Pot trial 1959 with black sandy soils of low phosphate-fixing capacity and brown sandy soils of high phosphate-fixing capacity; the differences in Pw-value are due to past application of phosphates. Details of a are presented in c (low capacity) and d (high capacity); kind and quantity of fertilizers are indicated.

zijn voor gronden waar compost voor bemesting is gebruikt. Aannemelijk is dat voor minder goed beschikbare fosfaatbestanddelen in compost hetzelfde zal gelden.

De proef wijst verder uit dat rogge anders reageerde dan aardappelen op verschillen in fosfaatfixerend vermogen van de grond. Het opnemend vermogen van rogge is blijkbaar sterker.

De praktische betekenis van de geringere geschiktheid van de methode bij rogge is waarschijnlijk niet groot. In deze proef was namelijk zuiver 'zwarte' tegenover zuiver 'bruine' grond gesteld. In de praktijk heeft men echter vaak met overgangsgevallen te maken.

*Conclusie* Belangrijke verschillen in fixerend vermogen van zandgrond en verschillen in pH hadden weinig storende invloed op het verband tussen het Pw-getal en de reactie van het gewas aardappelen. Bij rogge was de betekenis van het Pw-getal bij gronden met verschillend fixerend vermogen niet gelijk. Dit verschil was echter relatief geringer dan een overeenkomstig verschil bij het P-getal.

De bepaling van de beschikbaarheid van bodemfosfaat voor de plant door middel van het Pw-getal wordt niet gestoord door de vorm, waarin het fosfaat voorheen is toegediend. De methode is dus ook goed bruikbaar als in het verleden minder werkzame fosfaten (natuurlijk fosfaat, en waarschijnlijk ook fosfaat aanwezig in compost) zijn toegediend, waarvan nog een slecht beschikbare rest aanwezig is. Bij gebruik van de P-AL-methode wordt de waarde van deze rest sterk overschat.

### 5.3.11 Potproef met sterk fosfaatfixerende klei- en zandgronden (1965)

*Opzet van de proeven* Om het effect van de  $P_2O_5$ -bemesting op enkele sterk fosfaatfixerende gronden na te gaan werden in 1963-1965 in potten een bruine ontginningsgrond uit Drenthe, een sterk ijzerhoudende grond uit Groningen en een sterk ijzerhoudende komgrond uit het rivierkleigebied vergeleken met een zwak fixerende zwarte ontginningsgrond uit Drenthe, een zavelgrond uit Groningen en een lössgrond uit Limburg. Tabel 4 geeft enkele bijzonderheden.

In totaal was in 3 jaren oplopend tot 1350 kg/ha  $P_2O_5$  bemest. Proefgewas was aardappel.

Na afsluiting van het derde proefjaar liepen de Pw-getallen sterk uiteen. Bij de sterk fixerende gronden was het Pw-getal toegenomen met respectievelijk 26, 30 en 20 eenheden, bij de zwak fixerende gronden met respectievelijk 163, 82 en 65 eenheden.

*Uitkomsten* De opbrengsten waren op beide zandgronden aanmerkelijk lager dan op de overige gronden, die onderling weinig verschilden. Op de zwarte grond bedroegen zij slechts ongeveer een derde deel hiervan, op de bruine waren zij iets hoger. Het is daarom twijfelachtig of de hiermee verkregen resultaten met de andere kunnen worden vergeleken.

Tabel 4. Enkele bodemkundige eigenschappen van sterk en zwak fosfaatfixerende gronden.

	Orga- nische stof (%)	Afslib- bare delen (%)	pH-KCl	Pw <sup>1</sup>	P-AL
<b>Sterk fixerende gronden/High capacity</b>					
'Bruin' zand/'Brown' sand	4,3	3	4,7	6	23
Rodoorn/Humic marine clay (with Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	12,2	41	5,9	12	21
Komklei/Sticky river clay	2,7	33	4,1	3	8
<b>Zwak fixerende gronden/Low capacity</b>					
'Zwart' zand/'Black' sand	9,2	4	4,0	18	13
Zavel/Marine alluvial loamy sand	1,7	15	5,9	11	15
Löss/Loess	2,4	26	5,7	9	16
	Organic matter (%)	Particles < 16 µm (%) w/w	pH-KCl	Pw	P-AL

<sup>1</sup> Bepaald direct na de oogst in niet met fosfaat bemeste potten/Measured immediately after harvesting pots without phosphate dressing.

Table 4. Some parameters of soils of high and low phosphate-fixing capacity.

Fig. 15. Verband tussen Pw-getal en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-gehalte van aardappelloof. Potproef in 1965 met enkele weinig en sterk fosfaatfixerende gronden.

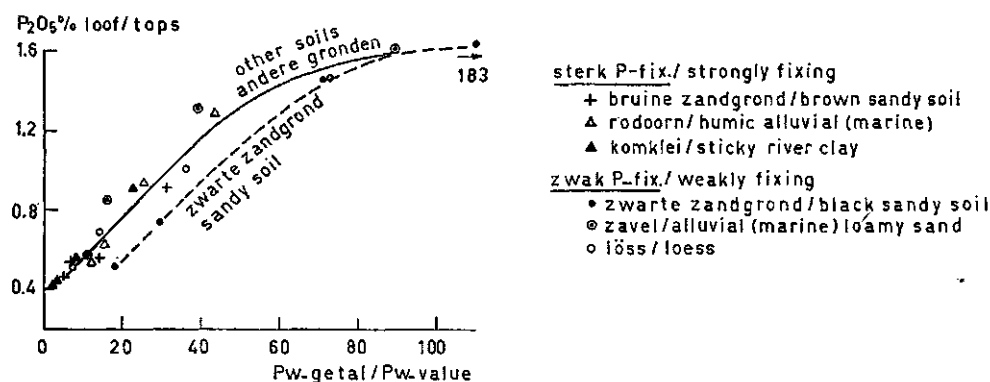


Fig. 15. Relation of Pw value and percentage phosphate in potato tops. Pot trial 1965, soils of low and high phosphate-fixing capacity.

Fig. 15 laat zien dat het verband tussen het Pw-getal en het P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-gehalte nauw was, ondanks de uiteenlopende aard van de gronden. In dit geval geven de stippen het gemiddelde van in viervoud verrichte bepalingen weer. De uitkomsten op de bruine zandgrond voegen zich goed in het algemene beeld, die van de zwarte wijken af.



*Conclusie* Opvallend is de overeenstemming tussen het verband van het Pw-getal en de reactie van aardappelen op ijzerhoudende sterk fosfaatfixerende kleigronden en op zwak fixerende zavel- en lössgrond. Blijkbaar had een groot verschil in fosfaatfixerend vermogen weinig invloed op de waarde van het Pw-getal. Het betreft hier echter een beperkte proef.

## 6 Bodemfactoren die op het verband tussen Pw-getal en de reactie van het gewas van invloed kunnen zijn

Een methode van grondonderzoek zou ideaal kunnen worden genoemd indien de uitkomsten evenredig zijn aan de mate van beschikbaarheid van het bodemfosfaat voor de plant. Eigenschappen van de grond die voor de fosfaatopname door de plant van belang zijn, zoals de pH en het fosfaatfixerend vermogen, moeten op een landbouwkundig juiste wijze in deze uitkomsten tot uitdrukking komen. Als hieraan niet wordt voldaan, moet dit als een onvolkomenheid van de methode worden beschouwd. Bij toepassing ervan zal moeten worden uitgemaakt of ook met deze andere eigenschappen rekening moet worden gehouden.

Om vast te stellen of dergelijke neveninvloeden bestaan werd nagegaan of een deel van de restspreiding van de gevonden samenhangen tussen het Pw-getal en een eigenschap van het gewas (bijv. het  $P_2O_5$ -gehalte) nog door andere factoren kan worden verklaard.

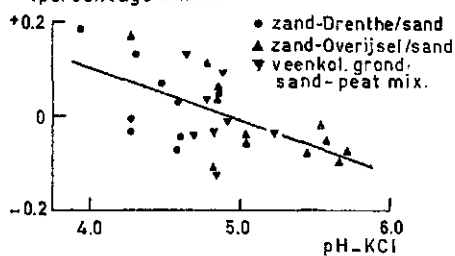
Het onderzoek naar de mogelijke invloed van deze factoren werd beperkt tot het traject waarbinnen het fosfaat de beperkende factor voor de opbrengst is.

### 6.1 Invloed van de pH van de grond

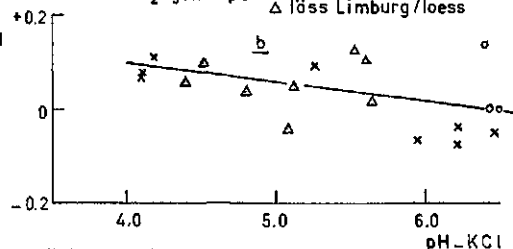
De in de standaardproef (5.2) verkregen resultaten op zandgronden en veenkoloniale gronden (zie fig. 1a en 1b) werden tot één figuur samengevoegd en de gemiddelde samenhang vastgesteld (hier niet afgebeeld). Voor dit materiaal werd het effect van de pH bepaald nadat het  $P_2O_5$ -gehalte van het aardappelloof op een gelijk Pw-getal was gecorrigeerd (verband tussen pH en de loodrechte afwijkingen van de waarnemingen ten opzichte van de vereffende kromme). Hierbij werden de waarnemingen bij Pw-getal  $> 60$ , waar de kromme weinig vaststaat, buiten beschouwing gelaten. Bovendien werden gronden met meer dan 0,5 %  $CaCO_3$  niet in het onderzoek betrokken; voor dergelijke gronden is de pH geen bruikbare landbouwkundige maat (fig. 16a-g). Een negatieve invloed van de pH op de genoemde afwijkingen is vrij duidelijk ( $P < 0,01$ , fig. 16a). Het pH-traject van de veenkoloniale gronden is weliswaar kort, maar het resultaat valt niet buiten het beeld van de zandgronden.

De zeeklei-, rivierklei- en lössgronden (fig. 1c, 1d, 1e) werden op dezelfde wijze tot één groep verenigd, al was het daarbij niet nodig gevallen met hoge Pw-getallen uit te sluiten (fig. 16b). Ook hier bestaat een geringe negatieve invloed van de pH ( $P < 0,05$ ) en men krijgt de indruk, dat de invloed bij de rivierkleigronden het grootst is. Löss en enkele ontkalkte zeekleigronden passen redelijk in

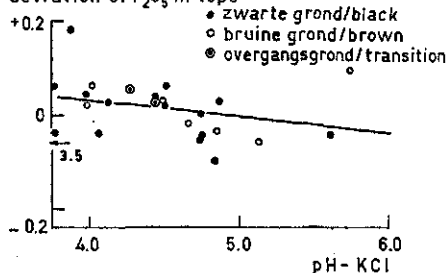
afwijking  $P_2O_5$  loof  
deviation of  $P_2O_5$  in tops  
(percentage units)



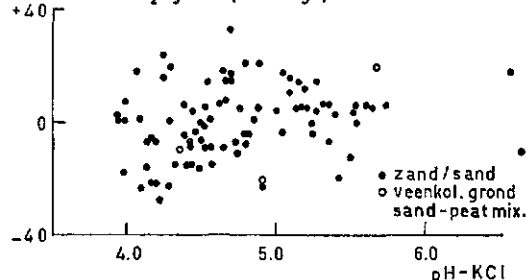
afwijking  $P_2O_5$  % loof  
deviation of  $P_2O_5$  in tops



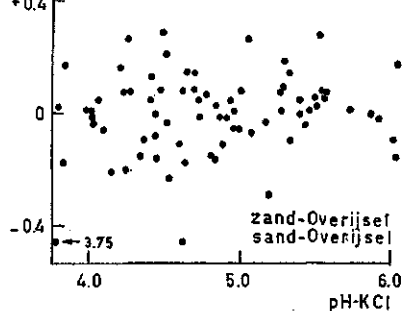
afwijking  $P_2O_5$  % loof  
deviation of  $P_2O_5$  in tops



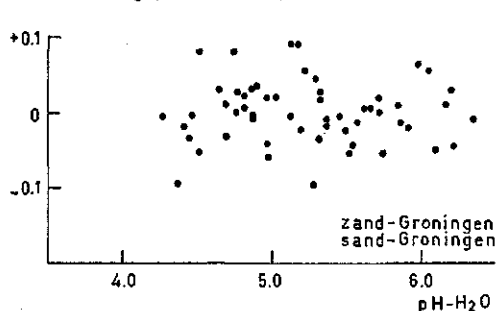
afwijking  $P_2O_5$  in loof in mg/pot  
deviation of  $P_2O_5$  in tops in mg/pot



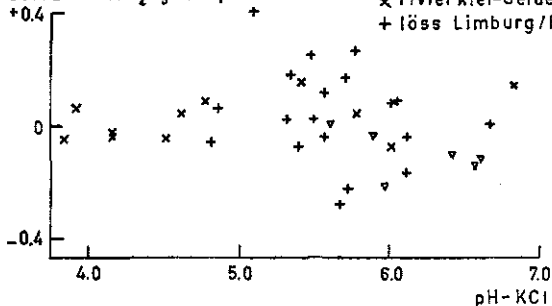
afwijking  $P_2O_5$  % loof  
deviation of  $P_2O_5$  in tops



afwijking  $P_2O_5$  % loof  
deviation of  $P_2O_5$  % shoots



afwijking  $P_2O_5$  % loof  
deviation of  $P_2O_5$  in tops



het beeld. Voor rivierklei alleen zou de regressielijn steiler lopen.

Bij de potproef met aardappelen op zandgronden in 1958 (5.3.2) leek eenzelfde negatieve invloed van de pH aanwezig te zijn (fig. 16c), maar deze staat statistisch niet vast. Er was geen verschil tussen bruine en zwarte grond.

De in 1952 op zandgronden en veenkoloniale gronden genomen potproef met aardappelen (5.3.3) gaf geen duidelijke invloed van de pH te zien (fig. 16d).

Het verband tussen het Pw-getal en het  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof op ijzerhoudende gronden (5.3.5), in fig. 9a door twee lijnen voor verschillend  $Fe_2O_3$ -gehalte aangegeven, is in één lijn samengevat (hier niet afgebeeld). De verticale afwijkingen ten opzichte van deze lijn zijn in fig. 16e tegen pH-KCl uitgezet. Er kan geen invloed van de pH worden vastgesteld.

Bij de in 1957 met haver op kleigrond genomen potproef (5.3.6; fig. 10c) werden de waarnemingen bij Pw-getal  $> 40$  buiten beschouwing gelaten. Bij löss en rivierklei werd geen invloed van pH gevonden (fig. 16f); het aantal zeekleigronden is te gering voor het trekken van een conclusie.

Op het kalk-fosfaatproefveld besproken onder 5.3.8 is blijkens fig. 16g het verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van het loof onafhankelijk van de pH (in dit geval de pH- $H_2O$ ).

Uit bovenvermelde gegevens blijkt dat de beschikbaarheid van het bodemfosfaat bij hogere pH in enkele gevallen lager was dan door het Pw-getal wordt aangegeven. Bij zandgrond is in twee van de vijf gevallen een verlaging gevonden, bij kleigrond in één van de twee gevallen.

Door de hellingen van de in fig. 16 getekende lijnen te vergelijken met de hellingen in fig. 1a en b, 1c en e en 4b kan worden afgeleid dat één pH-eenheid verschil even veel invloed heeft op het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof als een verschil van 6 Pw-getaleenheden op zandgrond en veenkoloniale grond in de standaardpotproef (1960). Bij de potproef met zandgronden in 1958 en bij die met kleigronden in de standaardpotproef (1960) bleken 3 Pw-getaleenheden equivalent te zijn met één eenheid verschil in pH. Dit zou betekenen dat bij vergelijking van een grond met pH = 5 met een andere met pH = 6 een Pw-getal = 30 op de

Fig. 16. Verband tussen pH-KCL en de afwijkingen van het  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelloof (a, b, c, e, f), tussen pH-KCL en de opgenomen hoeveelheid  $P_2O_5$  in aardappelloof (d), resp. tussen pH- $H_2O$  en de afwijking van het  $P_2O_5$ -gehalte van loof van groene haver t.o.v. de gemiddelde curve met Pw-getal (g). a: zand en veenkoloniale grond, 1960. b: ontcalciteerde klei en löss, 1960. c: zand, 1958. d: zand en veenkoloniale grond, 1952. e: ijzerhoudend zand, 1956. f: ontcalciteerde klei en löss, 1957. g: fosfaat-kalkproefveld op zand, 1946.

Fig. 16. Relation of pH-KCL with deviations of phosphate content in potato tops from content expected according to Pw values (a, b, c, e, f) and with amount of phosphate in potato tops (d), and relation of pH- $H_2O$  with deviations of phosphate content in oat shoots from content expected according to Pw values (g). a: sand and sand-peat mixture, from Fig. 1a and b. b: decalcified clay and loess, from Fig. 1c, d and e. c: sand, from Fig. 4b. d: sand and sand-peat mixture, from Fig. 8b. e: sand with high iron content, from Fig. 9a. f: decalcified clay and loess, from Fig. 10c. g: sand, from Fig. 12b.

de zuurdere grond in deze reagerende proeven zou corresponderen met 36, respectievelijk 33 op de minder zure grond. Bij de overige proeven werd geen invloed gevonden.

De conclusie kan dan ook luiden dat de pH in het algemeen geen grote betekenis heeft bij de beoordeling van de waarde van het Pw-getal.

## **6.2 Invloed van het $\text{CaCO}_3$ -gehalte van de grond**

Er kon geen invloed worden vastgesteld van het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte van de grond, zoals bijv. blijkt uit de resultaten van de in 1959 met kleigronden genomen potproef, waarbij het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte het sterkst varieerde (zie 5.3.7 en fig. 17a).

## **6.3 Invloed van het humusgehalte van de grond**

Als voorbeeld voor de afwezigheid van een invloed van het humusgehalte kunnen de gegevens van de potproef 1952 met zand- en veenkoloniale grond met aardappelen (5.3.4; fig. 8b) worden genoemd. Ook in de standaardpotproef (1960) was geen invloed van het humusgehalte aantoonbaar. De gevonden goede overeenstemming tussen belangrijk in humusgehalte verschillende zandgronden en veenkoloniale gronden pleit eveneens tegen een dergelijke invloed.

## **6.4 Invloed van het gehalte aan afslibbare delen van de grond**

De in 1957 genomen potproef met kleigrond (5.3.6) leverde het grootste aantal waarnemingen om een mogelijke invloed van het gehalte aan afslibbare delen over een behoorlijk breed traject na te gaan. Fig. 17c laat zien, dat een invloed niet waarschijnlijk is.

## **6.5 Invloed van het fosfaatfixerend vermogen van de grond**

In 5.3.3 is aangetoond dat er geen duidelijk verschil is tussen de reacties van aardappelen op bruine en op zwarte zandgronden, hoewel eerstgenoemde zich onderscheiden door een veel sterker fosfaatfixerend vermogen. Verschillen in dit opzicht tussen enkele kleigronden (5.3.11) bleken bij aardappelen evenmin invloed te hebben. Daarentegen bleek rogge in een potproef met bruine en zwarte zandgrond niet gelijk te reageren op het Pw-getal (5.3.10). Ook op sterk ijzerhoudende gronden is met aardappelen en haver een afwijking gevonden (5.3.5).

Hoewel de indruk bestaat dat deze factor in verscheidene gevallen geen invloed heeft, moet wel met uitzonderingen rekening worden gehouden.

Fig. 17. Verband tussen  $\text{CaCO}_3$ -gehalten (a), percentage humus (b), resp. percentage afslibbare delen  $< 16 \mu\text{m}$  (c) en de afwijkingen (in Fig. 11, 8b en 10c) van de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -gehalten in aardappelloop (a en c) of de opgenomen hoeveelheid  $\text{P}_2\text{O}_5$  (b) t.o.v. de gemiddelde curve met het Pw-getal.

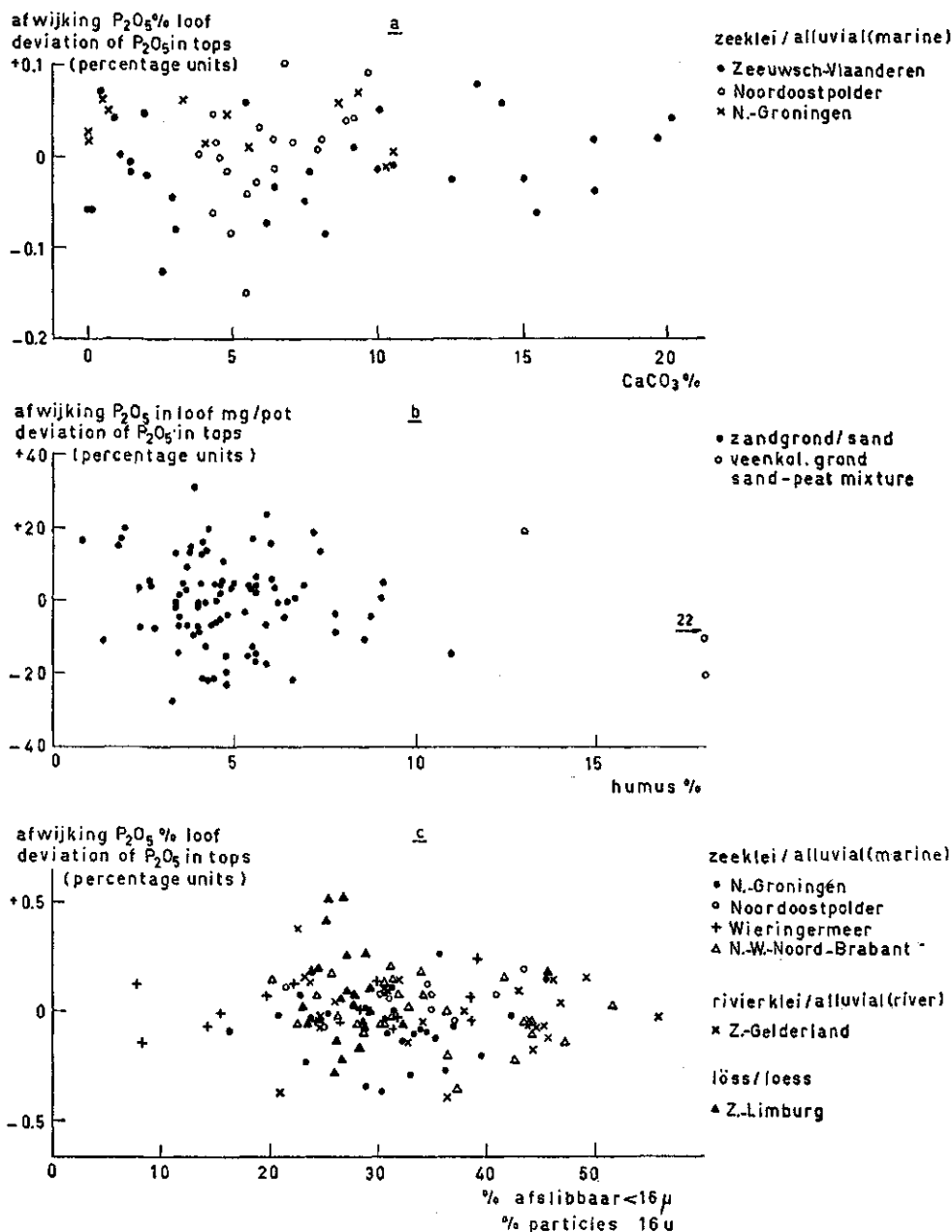


Fig. 17. Relation of carbonate content (a), humus content (b) and percentage particles  $< 16 \mu\text{m}$  (c) with deviations (in figs 11, 8b and 10c) of percentage phosphate in potato tops (a and c) or of amounts of phosphate in tops (b) from values expected from Pw values.

## 6.6 Invloed van de vorm waarin fosfaat aan de grond is toegevoegd

Het gewas blijkt uitsluitend te reageren op het Pw-getal, ongeacht hoe dit tot stand is gekomen. Dit blijkt uit de potproef van 1959 en 1960 met zandgronden (zie 5.3.10), waarin het Pw-getal gevarieerd werd door toevoeging van verschillende hoeveelheden monocalciumfosfaat en natuurfosfaat. Het natuurfosfaat had in het algemeen een geringere invloed op de toename van het Pw-getal, die echter afhankelijk was van de pH. Voor de plant was alleen dat gedeelte van het toegevoegde fosfaat van belang dat een stijging van het Pw-getal veroorzaakte.

## 6.7 Invloed van tuinturf

Dat de wijze waarop de verandering van het Pw-getal tot stand is gekomen van geen belang is, bleek ook bij een potproef in 1967, waarin ernstig fosfaatgebrek

Fig. 18. Verband tussen Pw-getal en  $P_2O_5$ -gehalte van haverloof. Potproef in 1967 met sterk fosfaatfixerende zandgrond, waarvan het Pw-getal zowel door bemesting met verschillende hoeveelheden monocalciumfosfaat als door menging met verschillende kwanta tuinturf is gevarieerd. 1: geen fosfaatbemesting, 2: jaarlijks 80 kg  $P_2O_5$ /ha, 3: 200 kg  $P_2O_5$ /ha, 4: 500 kg  $P_2O_5$ /ha.

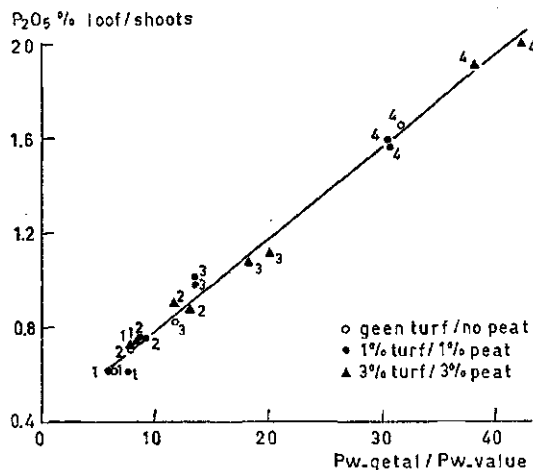


Fig. 18. Relation of Pw value with percentage phosphate in oat shoots. Pot trial 1967, sandy soil of high phosphate-fixing capacity. The soil was mixed with different amounts of peat to increase availability of phosphate. 1: no phosphate dressing, 2: an annual dressing of phosphate supplying 80 kg  $P_2O_5$  per ha, 3: 200 kg per ha and 4: 500 kg per ha.

van aardappelen en haver op sterk fosfaatfixerende zandgrond niet alleen verminderd werd door fosfaatbemesting, maar ook door toevoeging van (vrijwel fosfaatvrije) tuinturf in een zodanige hoeveelheid dat het humusgehalte van 7 tot 10 % (bij de hoogste gift) steeg. Uit het nauwe verband tussen het door deze behandeling gevarieerde Pw-getal en het  $P_2O_5$ -gehalte van haverloof bleek dat de door de turf teweeggebrachte verandering van het Pw-getal door het gewas op precies dezelfde wijze werd ondervonden als door bemesting ontstane verschillen in Pw-getal (fig. 18). In dit geval kan het verschil in humusgehalte bij de beoordeling van het Pw-getal buiten beschouwing blijven, evenals reeds voor het 'natuurlijk' humusgehalte is aangetoond (6.3). De uitkomst is analoog met die van de invloed van bekalking op de beschikbaarheid van bodemfosfaat, die ook door het Pw-getal werd opgevangen (fig. 12b en fig. 16g). Alleen ging het daar om een verlaging van het Pw-getal.

## 6.8 Conclusie

Het is gebleken dat het Pw-getal de in de inleiding van dit hoofdstuk als ideaal gekenschetste methode aanzienlijk dichter benadert dan P-citr- en P-AL-getallen, die door middel van een zwak zure extractie worden bepaald. In het algemeen gesproken is de landbouwkundige waarde van het Pw-getal niet alleen onafhankelijk van de grondsoort en de herkomst ervan, maar ook van een aantal belangrijke bodemfactoren, zoals de gehalten aan afslibbare delen, humus en  $CaCO_3$ , de vorm waarin fosfaat is toegediend en van met de grond vermengde tuinturf. Volledig doeltreffend is echter ook deze methode nog niet. Zo zijn de Pw-getallen te laag uitgevallen op gronden met een hoog gehalte aan ijzeroer; hetzelfde bleek voor rogge het geval te zijn op een sterk fixerende zandgrond. In enige gevallen had de pH een geringe invloed.



## 7 Beproeving van het Pw-getal op sterk afwijkende buitenlandse grondsoorten

*Inleiding* De hoge correlatie van het Pw-getal met de reactie van het gewas en de betrekkelijk geringe storende invloed die andere bodemfactoren hierop hebben, wijst erop dat het Pw-getal een maat is voor een factor die van overwegende betekenis is in het proces van de fosfaatopname. Als dit zo zou zijn, mag worden verondersteld dat de methode een bredere toepassing kan hebben dan alleen voor de Nederlandse grondsoorten, waarop het onderzoek is verricht.

Deze overweging heeft geleid tot een onderzoek met in het buitenland verzamelde grondmonsters. Hoewel dit onderzoek is verricht nadat het hierboven vermelde reeds was afgesloten, en het elders uitvoeriger zal worden gepubliceerd (Van der Paauw, 1971) is de uitkomst ook van belang als afsluiting van het hier besproken onderzoek.

*Opzet van de proef* Het onderzoek werd verricht met 74 gronden, waarmee 1 of (in 28 gevallen) 2 Mitscherlich potten werden gevuld. Na elkaar werden in 1968 aardappelen (Bintje) en zomertarwe (Peko) verbouwd.

Deze gewassen zijn groen geoogst; opbrengst en  $P_2O_5$ -gehalte van de droge stof zijn bepaald. Van de 74 gronden kwamen er 23 uit de Verenigde Staten van Amerika, waarvan 15 van 6 verschillende grondsoorten uit Iowa, de overige 8, telkens paarsgewijs van 4 grondsoorten, uit de staten New York, Virginia, Florida en Washington. Uit de staat Victoria in Australië werden 5 monsters van verschillende grondsoorten ontvangen. Uit Engeland kwamen 6 monsters van 4 verschillende grondsoorten, uit Schotland 5 monsters van 5 grondsoorten, 14 gronden werden uit continentaal Europa verkregen, waarvan 7 uit W.Duitsland, 3 uit Zuid-Slavië en 1 uit België, Frankrijk, Zwitserland en Oostenrijk. Ter vergelijking werden nog 8 zeeklei-, 2 rivierklei- en 11 zandgronden uit eigen land toegevoegd. De eigenschappen van de gronden varieerden sterk: het gehalte aan grof zand ( $> 100 \mu m$ ) 0-87 %; afslibbare delen ( $< 16 \mu m$ ) 2-67 %; organische stof 0,8-16,2 %;  $CaCO_3$  0,0-27,6 %; pH-KCl varieerde van 4,0-7,7, Pw-getal van 3-74, P-AL-getal van 5-93, K-HCl van 3-63 en  $MgO-NaCl$  van 20-830 (dpm). De correlatie tussen Pw- en P-AL-getal was vrij zwak.

De aardappelen werden bemest met 0,6 g N, 0,8 g  $K_2O$  en 0,3 g  $MgO$  per pot. Na doorspoeling van de potten ontving de tarwe 0,5 g N en 0,67 g  $K_2O$ . Fosfaat werd niet toegediend. Voor een ruime watervoorziening werd gezorgd.

Fig. 19. Verband tussen Pw-getal en percentage  $P_2O_5$  van tarweloof. Potproef in 1968 met buitenlandse gronden.

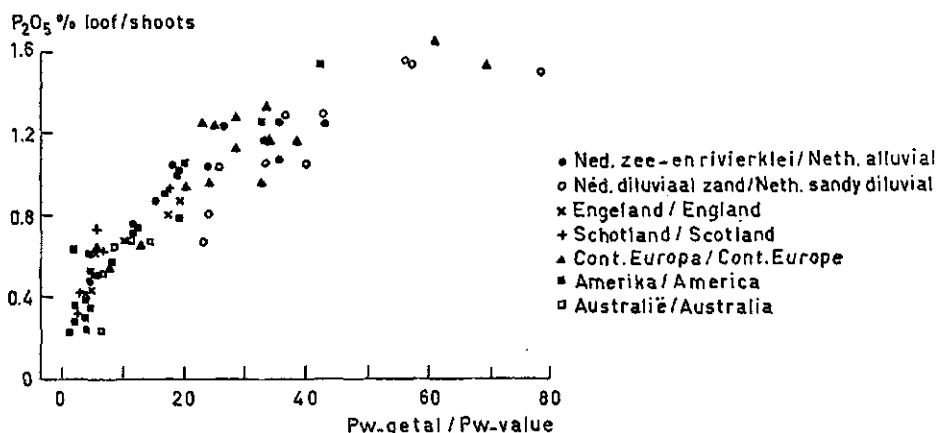


Fig. 19. Relation of Pw value with percentage phosphate in wheat shoots. Pot trial 1968, soils from abroad.

**Uitkomsten** In de proef met tarwe zijn hoge correlaties gevonden tussen Pw-getal en de reactie van het gewas. In de proef met aardappelen was dit gedeeltelijk het geval, maar daarnaast zijn ook afwijkingen voorgekomen. Uit het laatste kan blijken dat onder bepaalde omstandigheden de waarde van het Pw-getal voor sommige grondsoorten toch afwijkend kan zijn. Het zeer positieve resultaat van de proef met tarwe bevestigt echter het vermoeden dat een belangrijk onderdeel van het proces van de fosfaatopname door het Pw-getal wordt gemeten. Een zeer sterke correlatie bij zo sterk uiteenlopende bodemeigenschappen is geen toeval.

**Zomertarwe** De correlatie van het Pw-getal met het  $P_2O_5$ -gehalte is zeer hoog (fig. 19); de restspreiding bleek onafhankelijk te zijn van andere bodemfactoren. Het verband is zelfs nog sterker dan bij de standaardproef met aardappelen (fig. 1), die voor de ontwikkeling van de methode heeft gediend.

Ook de opbrengsten aan droge stof bleken duidelijk met het Pw-getal samen te hangen; zij waren echter, hoewel in zwakkere mate, ook door de pH bepaald. Er kan nog worden vermeld dat de correlatie van het P-AL-getal met het  $P_2O_5$ -gehalte van het loof zwak was.

**Aardappelen** Het Pw-getal correleerde bij de Europese gronden ook sterk met het  $P_2O_5$ -gehalte van aardappelen. In dit beeld passen ook de gronden van Virginia en Florida, een van beide gronden uit Washington en 2 van de 5 Australische gronden. Bij de overige gronden, in de eerste plaats dus 13 gronden uit Iowa, zijn bij een overeenstemmend Pw-getal meestal hogere  $P_2O_5$ -gehalten gevonden. De meeste van deze gronden onderscheiden zich door een hoog gehalte aan uitwisselbaar Mg, drie door een hoog K-gehalte. Of dit de reden is voor de afwijkende reactie, kan niet

worden uitgemaakt.

Wat betreft het verband van het Pw-getal en de opbrengst aan loof, waren de verschillen minder opvallend, omdat deze ook duidelijk negatief bepaald waren door de pH.

*Conclusie* Het Pw-getal heeft de beschikbaarheid van het fosfaat in de grond voor de tarweplant nauwkeurig aangegeven, waarbij sterk uiteenlopende herkomst en eigenschappen van de gronden geen storende invloed hebben gehad. De methode van het Pw-getal heeft deze zware proef doorstaan, waaruit blijkt dat het een goede maat is voor de toelevering van fosfaat door de grond aan de plant.

Op een aantal Amerikaanse en Australische gronden werden echter bij aardappel hogere fosfaatgehalten in het gewas aangetroffen dan bij een overeenkomstig Pw-getal op de overige gronden.

## 8 Enkele aspecten van het Pw-getal

### 8.1 Algemene beschouwing

Het doel van grondonderzoek is een schatting te maken van de mate waarin een voedingsstof aan een gewas ter beschikking wordt gesteld. Dit kan alleen worden bereikt als men er in slaagt met de methode van onderzoek een eigenschap van de grond te bepalen die een nauwkeurige maat is van de beschikbaarheid van deze voedingsstof. Welke karakteristieke eigenschap dit is, en hoe de methode voor de bepaling moet zijn, zal nader moeten worden uitgemaakt.

Zoals in de Inleiding is vermeld, zijn de gedachten in dit verband gericht op enkele aspecten zoals:

1. De bepaling van de totale, voor opname in aanmerking komende voorraad (*de kwantiteitsfactor*)
2. De fosfaatconcentratie of de fosfaatpotentiaal van de bodemoplossing (*de intensiteitsfactor*)
3. Het vermogen van de grond de potentiaal op peil te houden wanneer fosfaat onttrokken wordt (*de capaciteitsfactor*).

Bij de extractie van grond met water, zoals bij bepaling van het Pw-getal of met andere extractievloeistoffen, wordt een filtraat verkregen waarvan de fosfaatconcentratie door een wisselwerking van bovengenoemde factoren tot stand komt. De mate waarin elk van deze aspecten van belang is voor de fosfaatconcentratie van het filtraat hangt in belangrijke mate af van de aard en de wijze van extraheren. Zo zal bij toepassing van een relatief sterke extractie vloeistof (citroenzuur 1 % of AL-oplossing) de kwantiteitsfactor sterker naar voren komen.

Bij een zeer milde extractie met water zal voornamelijk de intensiteitsfactor in de fosfaatconcentratie van het filtraat tot uitdrukking komen. Bij percolatie of — als beste benadering hiervan — een wijde waterverhouding tussen grond en een niet te lange extractietijd, waarbij het aspect van de extractiesnelheid nog tot zijn recht komt, krijgt ook het naleverend vermogen van de grond, dus de capaciteitsfactor, een belangrijkere invloed.

Afhankelijk van het gestelde doel — bepaling van de voorraad (als maat voor de beschikbaarheid op lange termijn) of van het direct beschikbare fosfaat (voor kortdurende onttrekking) — zal een keuze moeten worden gedaan uit de hier genoemde mogelijkheden van grondonderzoek.

Voor de fosfaatvoorziening van landbouwgewassen met een korte groeiduur zal de fosfaatvoorraad vermoedelijk niet van overwegend belang zijn; hier zal voor-

namelijk de capaciteitsfactor, d.w.z. het vermogen van de grond de concentratie op peil te houden, de beschikbaarheid van het fosfaat bepalen.

Als methode van grondonderzoek, bedoeld om een zo goed mogelijke indruk van de beschikbaarheid op korte termijn te krijgen, zal dus vermoedelijk een milde extractie (water) met een tamelijk wijde extractieverhouding en een niet te lange extractietijd goede kansen maken.

Dergelijke beschouwingen gaven weliswaar een richting aan, maar het was nodig experimenteel uit te maken bij welke extractieverhouding en extractieduur de hoogste correlatie wordt gevonden tussen de fosfaatconcentraties van de filtraten en een door de plant gegeven maat voor de beschikbaarheid, zoals bijv. het fosfaatgehalte. Uit verschillende varianten is de methode van het Pw-getal als de doeltreffendste gekozen.

Het P-AL-getal zal door de sterkere accentuering van de voorraad (de beschikbaarheid op langere termijn) wellicht van waarde blijven. Een aanwijzing hiervoor zou kunnen zijn dat het voor blijvend grasland beter voldoet dan het Pw-getal.

Uitgebreide toetsing van het Pw-getal met gebruikmaking van grondmonsters van vele in het verleden uitgevoerde pot- en veldproeven toonde aan dat het de beschikbaarheid van het fosfaat voor de plant op een juiste en voor alle grondsoorten vrijwel gelijke wijze aangeeft.

Dit hoeft overigens nog niet te betekenen dat op alle grondsoorten bij een gelijke waarde van het Pw-getal eenzelfde bemesting met fosfaat moet worden toegediend. Uit een uitvoerig recent proefveldonderzoek (Ris, nog niet gepubliceerd) is <sup>echter</sup> ~~namelijk~~ gebleken dat de verschillen in de economisch optimaal toe te dienen hoeveelheid fosfaat gering zijn. Op verschillende grondsoorten kan een gelijk bemestingsadvies voor fosfaat op basis van Pw-getal worden gegeven.

Tenslotte is het nog mogelijk dat verschillen in fixerend vermogen van de grond die niet volledig in het Pw-getal tot uitdrukking komen, toch tot een verschil in fosfaatbehoefte aanleiding geven. Dit is een kwestie die nog in onderzoek is. Mocht deze factor van betekenis blijken te zijn, dan kan het zin hebben naast het Pw-getal ook het fosfaatfixerend vermogen van de grond te bepalen en het bemestingsadvies op grond van deze beide gegevens op te stellen.

## 8.2 De waarde van het Pw-getal onder veldomstandigheden

Het oordeel over de betekenis van het Pw-getal zal voorlopig gebaseerd moeten zijn op de resultaten van proeven onder 'gemiddelde' groeiomstandigheden. Natuurlijk zou het nog beter zijn een waardering voor verschillende groeiomstandigheden (zoals de vochttoestand) te geven, maar zover is het onderzoek nog niet gevorderd. Dit houdt in dat minder gunstige groeiomstandigheden buiten beschouwing gelaten moeten worden en dat men zich beperkt tot 'normale' cultuurgronden onder niet al te extreme weersomstandigheden. Potproeven, hoe informatief ze ook kunnen zijn om methoden te onderscheiden, hebben hiervoor geen betekenis. De methode zal, wat dit punt betreft, nog nader onder veldomstandigheden moeten worden be-

studeerd.

Waar de grenzen van de bruikbaarheid van het Pw-getal liggen is dus a priori niet te zeggen, maar de kans om factoren die in het veld invloed kunnen uitoefenen op de fosfaatopname (zoals vochttoestand en structuur) scherp te onderscheiden is gestegen door de introductie van een methode die een wezenlijk kenmerk van de beschikbaarheid benadert.

### 8.3 De overschakeling op Pw-getal voor onderzoek van praktijkpercelen

Beide fosfaatbepalingen, P-AL en Pw-getal, bieden een eigen aspect van de beschikbaarheid van het fosfaat. Bij de overschakeling op het Pw-getal heeft dit consequenties voor het onderzoek van praktijkpercelen.

Van primair belang is dat met het Pw-getal een betere karakterisering van de fosfaattoestand van de gronden wordt verkregen, de beschikbaarheid van het bodemfosfaat tot uitdrukking brengend. Dit stelt ons in staat een betere schatting te maken van de hoeveelheid kunstmest-P waarmee het komende gewas moet worden bemest.

De vergelijking van de reproduceerbaarheid van de beide methoden lijkt op het eerste oog voor het Pw-getal minder gunstig uit te vallen.

Weinig verschillend is op dit punt de bepaling in het laboratorium. De standaardafwijking moet bij een routinebepaling binnen zekere grenzen blijven. De analyses, die door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek in duplo worden verricht voldoen hieraan: de standaardafwijking van een dublobepaling bedraagt gewoonlijk niet meer dan 4 %. Aangenomen mag worden dat een dergelijke reproduceerbaarheid ook bij de Pw-bepaling kan worden gehaald.

Een verschil in reproduceerbaarheid kan ontstaan als gevolg van de ongelijkmatigheid van een bemonsterd perceel. In het P-AL-getal bedraagt de vnl. hierdoor ontstane fout gemiddeld ongeveer 10 % (Ferrari & Vermeulen, 1955), zelfs als het monster uit 40 streken is samengesteld. Verwacht moet worden dat de variatie in het Pw-getal groter kan zijn. Ingeval een perceel nl. pleksgewijze reële verschillen vertoont in factoren, die van invloed zijn op de beschikbaarheid van het fosfaat, bijvoorbeeld als gevolg van verschillen in pH, zullen deze sterker in het Pw-getal dan in het P-AL-getal tot uiting komen. De bemonsteringsfout zou hierdoor zo groot worden dat de gemiddelde waarde van het Pw-getal van een dergelijk perceel praktisch als waardeloos moet worden beschouwd. De P-AL-methode is voor dergelijke verschillen minder gevoelig, waardoor de bemonsteringsfout kleiner kan zijn. Het woord 'fout' is in dit opzicht wat misleidend. De grotere 'fout', waarmee het Pw-getal behept is, geeft in dit geval een betere beschrijving van de ongelijkmatige beschikbaarheid van fosfaat van het perceel dan de geringere 'fout' van het P-AL-getal. Het gewas zal op dit perceel bij een gelijkmatige bemesting plaatselijk te weinig en te veel fosfaat ontvangen of het advies nu op het gemiddelde Pw- of op het P-AL-getal is gebaseerd. De reden ligt niet in de bepalingen maar in de grote ongelijkmatigheid van het desbetreffende perceel, die een grens

stelt aan de toepasselijkheid van grondonderzoek in dit geval. Een eventuele grotere bemonsteringsfout betekent dus niet dat de methode in het nadeel is.

Een soortgelijk probleem bestaat als de bepaling gebruikt wordt voor vergelijking van de fosfaattoestand van een perceel op verschillende tijdstippen. Dank zij de grotere gevoeligheid van Pw-getal kunnen veranderingen in de beschikbaarheid van het bodemfosfaat worden gemeten die onder invloed van weer en cultuurmaatregelen zijn ontstaan. Hierdoor zullen op verschillende tijdstippen verrichte bepalingen uitkomsten kunnen geven, die iets sterker variëren dan bij gebruik van de P-AL-methode (vgl. 8.4). Ook dit pleit niet tegen de bruikbaarheid van het Pw-getal; het leert integendeel de werkelijke veranderingen beter kennen. Alleen als er fluctuaties zouden voorkomen die geen betekenis voor de opneembaarheid van het gewas hebben, zouden deze storend zijn.

#### 8.4 Controle op het bemestingsbeleid

Mocht het de voorlichter alleen te doen zijn om te bepalen of een grond bij een bepaalde bemestingswijze in verloop van tijd rijker of armer is geworden — een beperkt doel, dat echter om praktische redenen van belang kan zijn — en het dus alleen gaat om de vaststelling van hoeveelheden fosfaat, ongeacht hun beschikbaarheid, dan voldoet de minder gevoelige P-AL-methode beter.

Om na te gaan in welke mate het gebruik van het Pw-getal voor dit doel nadelig zou kunnen zijn, is bij verschillende grondsoorten gebruik gemaakt van een aantal opeenvolgende grondonderzoekingen op 40 percelen verricht door de Rijkslandbouwvoorlichtingsdienst (Interprovinciale serie 31). De bepalingen liepen over 2 tot 4 jaar; ze werden verricht in het late najaar en het vroege voorjaar, in de periode waarin gewoonlijk grondmonsters worden genomen.

Tabel 5 geeft de standaardafwijkingen. Bij het P-AL-getal was deze voor alle gronden gemiddeld iets groter dan de waarde die Ferrari & Vermeulen (1955)

Tabel 5. Standaardafwijking (s) van P-AL- en Pw-getal in een periode van 2 tot 4 jaren.

	Aantal plekken	s	
		P-AL	Pw
Zand/Sand	12	11,8	16,1
Veenkoloniale grond/Sand-peat mixture	5	11,9	12,5
Zeeklei/Marine clay	19	12,5	17,9
Löss/Loess	4	12,6	15,0
Alle gronden/All soils	40	12,2	16,4
	Number of plots	P-AL	Pw
		s	

Table 5. Standard deviation (s) of P-AL and Pw value over 2 to 4 years.

vonden bij op eenzelfde tijdstip uitgevoerde bepalingen (ongeveer 10 %). Dit verschil kan wellicht aan in verloop van tijd opgetreden veranderingen toegeschreven worden. De standaardafwijking van het Pw-getal was inderdaad groter dan van P-AL, als gevolg van een grotere veranderlijkheid in de tijd, en misschien ook van de genoemde grotere gevoeligheid t.o.v. verschillen binnen de bemonsterde oppervlakte. Het is niet uitgesloten dat de verschillen tussen beide methoden nog groter zouden zijn geweest als ook de zomermaanden in het onderzoek betrokken waren: de grond is dan biologisch actief, wat misschien grotere invloed zal hebben op het Pw- dan op het P-AL-getal.

Als het alleen gaat om het vaststellen van verschillen in de fosfaatvoorraad van de grond op uiteenlopende tijdstippen is het Pw-getal wat minder geschikt dan het P-AL-getal. Een groot bezwaar is dit echter niet. Betrouwbare conclusies kunnen namelijk alleen worden getrokken als er werkelijk belangrijke verschillen in de grond zijn ontstaan. Het wordt nogal eens over het hoofd gezien dat dit zelden het geval is. De fosfaatrijkdom wijzigt zich in het algemeen langzaam, zodat de P-AL-methode voor dit beperkte doel evenmin nauwkeurig genoeg is.

Het zou in bepaalde gevallen aantrekkelijk kunnen zijn beide methoden toe te passen, zoals vroeger is gebeurd met het P-getal en het P-citr-getal. In de regel zal dit afstuiten op de hogere kosten. Uit een dergelijke vergelijking zouden gevolgtrekkingen kunnen worden gemaakt over het fosfaatfixerend vermogen van de grond. Aan een directe bepaling hiervan moet echter wel de voorkeur worden gegeven.



## Samenvatting

Bij de bepaling van de beschikbaarheid van bodemfosfaat door middel van chemisch grondonderzoek zijn in het verleden soms opvallend gunstige resultaten verkregen bij gebruik van water als extractiemiddel. De algemene toepassing van een waterextractiemethode (het P-getal) stuitte toen op enkele belangrijke bezwaren, zoals de grote verschillen in uitkomst op verschillende grondsoorten en de geringe differentiëring van de cijfers, dit laatste vooral op kleigronden. Er bleek echter wel uit dat, mocht het mogelijk zijn deze bezwaren te overwinnen, water een veelbelovend extractiemiddel zou kunnen zijn. Deze opvatting heeft steun ontvangen van resultaten van dieper gaand bodemchemisch onderzoek (Sissingh, zie blz. 6).

Met dit als uitgangspunt is gezocht naar een variant van de waterextractiemethode, waarmee de beschikbaarheid met grote nauwkeurigheid zou kunnen worden bepaald zonder de genoemde nadelen.

De methode is ontwikkeld door het stapsgewijs aanbrengen van veranderingen in de uitvoering. Het was noodzakelijk elke wijziging te toetsen aan de reactie van de plant. Daar hierbij een zekere beperking geboden was, zijn alleen de uitkomsten van een vroeger met sterk gevarieerde grondsoorten genomen potproef ter toetsing gebruikt. Het was mogelijk een variant te vinden waarmee een sterke aanpassing aan de uitkomsten van deze standaardpotproef werd verkregen; onder andere was het verschil tussen grondsoorten grotendeels geëlimineerd.

De verkregen methode is vervolgens getoetst aan een onafhankelijk, in bodemeigenschappen rijk gevarieerd materiaal, waarvoor voornamelijk vroeger uitgevoerde pot- en veldproeven, waarvan de grondmonsters bewaard waren, zijn gebruikt.

Uit deze toetsing bleek dat de beschikbaarheid van het bodemfosfaat nauwkeurig door het Pw-getal wordt aangegeven. De grondsoort (zeeklei, rivierklei, löss, zand en veenkoloniale grond) en belangrijke bodemeigenschappen (klei-, humus- en  $\text{CaCO}_3$ -gehalte, fosfaatfixerend vermogen) bleken geen storende invloed te hebben op de landbouwkundige betekenis van het Pw-getal. Op opvallende wijze is dit bevestigd door een potproef met gronden van zeer verschillende aard en herkomst (Amerika, Australië, diverse Europese landen). Met zomertarwe werd een hoge correlatie gevonden van het Pw-getal met de reactie van het gewas, met aardappelen gedroeg een deel van de Amerikaanse en Australische gronden zich afwijkend, hoewel de correlatie bij de overige gronden hoog was.

In sommige gevallen bleek de pH enige invloed te hebben; een iets grotere, maar praktisch niet sterk storende afwijking, werd bij gronden met een hoog gehalte aan ijzeroer gevonden.

Het Pw-getal bleek op zand- en veenkoloniale gronden en in iets mindere mate op kleigronden belangrijk betere uitkomsten te geven dan het tot nog toe toegepaste P-AL-getal. Op kleigronden kunnen dus ook met waterextractie goed gedifferentieerde uitkomsten worden verkregen. Alleen bij lössgronden bleken Pw-getal en P-AL-getal gelijk in waarde; een voordeel van het Pw-getal is dat de uitkomsten op löss goed vergelijkbaar zijn met die van andere grondsoorten.

De methode is dus voor toepassing in de praktijk geschikt door de veel grotere nauwkeurigheid waarmee de beschikbaarheid van het bodemfosfaat voor akkerbouwgewassen wordt aangegeven. Opgemerkt moet evenwel worden, dat dit niet voor grasland geldt.

Als voordeel van de methode moet nog worden genoemd dat het Pw-getal resten afkomstig van vroegere bemestingen met minder goed werkzame fosfaten alleen aangeeft, in zoverre ze inderdaad voor de plant beschikbaar zijn. De methode is dus ook goed bruikbaar op voorheen met natuurfosfaat (en waarschijnlijk ook met compost) bemeste grond, in tegenstelling tot de P-AL-methode, waarmee weinig beschikbare fosfaatresten te hoog worden gewaardeerd.

Een ander voordeel is dat veranderingen in de beschikbaarheid van fosfaat, die bij onveranderde bodemvoorraad kunnen optreden (als gevolg van weersomstandigheden, bekalking, enz.), juist worden geregistreerd.

Als het alleen aankomt op de bepaling van de in de grond aanwezige hoeveelheid fosfaat, bijv. om het gevoerde bemestingsbeleid te beoordelen, is het Pw-getal iets minder geschikt dan het wat minder aan variatie onderhevige P-AL-getal.

Het onderzoek over de gewenste fosfaatbemesting is voortgezet door Ris. De indruk is dat een zelfde bemesting op alle Nederlandse grondsoorten kan worden aanbevolen als het Pw-getal gelijk is.

Het voorschrift van de methode, dat aangepast is aan de eisen van routine-onderzoek voor de praktijk, wordt beschreven in de Appendix.

## Summary

### An improved method of water extraction for the assessment of availability of soil phosphate: Pw value

#### Introduction (chaps 1-3)

Over the years our attention has repeatedly been drawn to water as a promising extractant for accurate assessment of the availability of soil phosphate. High correlations were occasionally noted between soil phosphate dissolved in water extracts and crop response to phosphorus in field and pot trials. However the ranges of dissolved phosphate characteristic for a certain degree of availability to plants varied considerably between soil types and even for one soil type under different conditions. Examination of procedures used suggested that differences were largely attributable to the manner of extraction.

Our interest in water as an extractant was stimulated by conclusions drawn from a study on soil chemistry by Sissingh (1961). From a comparison of isotopically exchangeable soil phosphate as determined in pot experiments (L-values) and in aqueous soil suspensions (E-values) it was concluded that extraction with water mobilizes the same components of soil phosphate that are mobile under soil conditions in the pot trial. This is different from the case of extraction with 1 % citric acid solution in which the amount of mobilized phosphate (E citr-value) was 2-4 times as high as the L or E water value. This shows that acid extraction liberated appreciable amounts of phosphate which are immobile under normal moist soil conditions.

To improve the correlations between the results of water extraction and crop response, and to eliminate differences due to soil type and soil conditions, the procedure was varied systematically. As standards, 88 Dutch soils were taken, for which crop response had been studied in 1960 in a pot trial. Large soil samples from that trial remained in store. Each part of the procedure was improved step by step to get closest correlation of dissolved phosphorus, expressed as Pw, and crop response in the 1960 trial.

The final procedure was as follows. Dry soil 1.2 g was moistened with water 2 cm<sup>3</sup> and was kept at 20°C. After 22 h the sample was extracted with 60 volumes water per volume original dry soil, and was vigorously shaken for 1 h. With the wide ratio of water to soil, a single scale could be used for agricultural evaluation of Pw values, irrespective of textural class. Premoistening before extraction eliminated similar differences between soils high and low in organic matter.

The chemistry of the method will be discussed in a separate paper (Sissingh &

Van der Paauw, in preparation). The appendix gives a procedure for routine use in the laboratory.

The new water-extraction method was then tested independently with soil samples remaining from earlier pot and field trials, of which crop-response data were available. The samples varied widely in soil conditions and type.

The method was contrasted with the P-AL method (Egnér et al., 1960), which was used for all arable soils in the Netherlands before August 1968. Since that date, the Pw method replaced it for peat settlement soils and sandy soils. In September 1970 the Pw method was introduced for all arable soils. The P-AL method had replaced the related but more complicated P-citric acid (1 %) method in 1958.

#### Correlation between Pw value and P-AL value (Chap. 4)

The correlation between Pw value and P-AL value (Table 1) was high on loess soils ( $r = 0.94$  in 24 soils) but lower in other soils. Hence differences between the two methods could be demonstrated only by examining soils other than loess. To make the distinction between Pw value and P-AL value as sharp as possible, a preselection was made in some cases among soils or soil samples (pots) for the purpose of weakening their mutual correlation (Table 1).

#### Evaluation of Pw value, also in comparison with P-AL value (Chap. 5)

##### *Standard pot trial, 1960 (Section 5.2)*

The standard pot trial was with 88 soils, of which 49 were taken from simultaneous field trials (Section 5.3.1). For each soil type, there was a close relation between Pw value and percentage phosphate of dry matter in 'Bintje' potato tops (Fig. 1). Differences between soils were small, especially in the middle parts of the curves, whose position could be more precisely plotted than the extremities. There could well be a difference between marine alluvial soils from the south-west of the Netherlands and from the north. This difference was observed also in the 1960 field trials but was not confirmed in other trials with south-western and northern clay soils. The inadequacy of the P-AL method for soils other than loess is shown in Figure 2. For loess soils (crosses in Fig. 2), the close relation of P-AL value with percentage phosphate in tops could be ascribed to the high correlation of Pw value with P-AL value.

##### *Field trials on soils used in standard pot trial, 1960 (Section 5.3.1)*

The 49 fields, scattered throughout the Netherlands, were planted with 'Bintje' potatoes and plots were dressed with up to 300 kg  $P_2O_5$ , as superphosphate, per ha. The relation of Pw with yields and with percentage phosphate in tops was in each trial relatively poor, probably because of the abnormal weather, which was very

dry in spring and later very wet.

The young potato stands were assessed and scored on a scale 0 to 10; improvements in score with phosphate fertilizer were plotted against Pw value (Fig. 3a) and P-AL value (Fig. 3b).

Differences in scores (between dressed and non-dressed) were widely scattered because crops in different parts of the country were observed over a period of 2 weeks and because of differences in growth stage. However Pw values undoubtedly supplied better information than P-AL values. There was no difference between soil types.

#### *Field and pot trials on sandy soils, 1958 (Section 5.3.2)*

Another series of simultaneous field and pot trials was with reclaimed sandy soils from the Province of Drenthe. These soils were either blackish due to the presence of a considerable portion of the original heath sod (a consequence of shallow plowing at the time of reclamation), or they were brown from the broken B horizon. The brown sand fixed phosphate much more than the black. Unlike 1960, the weather was near-normal.

In the pot trial, Pw value was closely related to yield of 'Voran' potato tops (Fig. 4a) and to percentage phosphate in tops (Fig. 4b), but P-AL value was weakly related to yield of tops (Fig. 4c).

In the field trials, Pw value was closely related to percentage phosphate in potato tops from plots without phosphate dressing (Fig. 5a) and to improvement in crop score with phosphate dressing (Fig. 5b). Pw value was more closely related than P-AL to 'relative yield' (defined as yield in control plots as a percentage of yield in plots dressed with 300 kg  $P_2O_5$  per ha) of tubers (Fig. 6).

#### *Field trials on sandy soils and peat-sand mixtures, 1959 (Section 5.3.3)*

The 1958 field trials were repeated in 1959 and were extended to reclaimed soils in the Peatland Settlements consisting of mixed peat and sand (Du. veenkoloniale gronden). Results were anomalous because of extreme drought. Before the drought affected the crop, the relation of Pw value and improvement in score of the young crop was similar to that in 1958 and 1960 (Fig. 7).

#### *Pot trial on sandy soils, 1952 (Section 5.3.4)*

In 1952 in a pot trial with 183 sandy soils and 35 peat-sand mixtures from different parts of the Netherlands, oats and potatoes were grown in succession and both were harvested green. Pw value was closely related to yield of potato tops (Fig. 8a), independently of the soil's origin, and, not so closely, to percentage phosphate in tops (Fig. 8b).

For oats, there was a wider scatter of Pw values plotted against yield of shoots

(Fig. 8c), which was not improved by using percentage phosphate in shoots as the variable.

*Pot trials with sandy soils rich in iron, 1956 and 1957 (Section 5.3.5)*

A pot trial in 1956 with potatoes studied the effect of high content of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in sandy soils. The relation of Pw value with percentage phosphate in potato tops clearly differs for soils rich in iron (Fig. 9a): a Pw value of 15 in soils with over 10 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was equivalent to a Pw value of 25 in normal soils. All the same, Pw value depicts the situation far better than P-AL value (Fig. 9b).

When some of the same pots were sown with oats in 1957, the differences between soils of different iron content were less pronounced (Fig. 9c).

*Pot trial with loamy and clayey soils, 1957 (Section 5.3.6)*

In a pot trial with potatoes on marine alluvial soils, river loam soils and loess of different origin, the relation of P-citric acid (P-citr) with percentage phosphate in tops was closer than usual for sandy soils, though the scatter was still wide (Fig. 10a). After correction for carbonate content of soil, the relation was considerably closer (Fig. 10b). Even so, the relation of Pw value with phosphate in tops was still closer (Fig. 10c) and was independent of carbonate in soil.

Loess soils (solid triangles in Fig. 10) clearly deviate from other soils for the relation of P-citr (a), whereas for the graph of Pw value and phosphate in tops (c), type and origin of the soil were inconsequent.

*Pot trial with marine alluvial soils different in carbonate content, 1959 (Section 5.3.7)*

In a pot trial in 1959 with potatoes on marine soils differing widely in carbonate content, Pw value was fairly closely related to percentage phosphate in tops (Fig. 11). Results were not influenced by the origin of the soils nor by carbonate content (Fig. 17a).

*Field trial with superphosphate and lime dressings, 1940-6 (Section 5.3.8)*

A humic sandy soil was in 1940 dressed with superphosphate and lime to cause large differences in phosphorus status and in pH (Van der Paauw, 1950). In later years no phosphate nor lime was applied. The relation of P-citr value with percentage phosphate in shoots of oats grown in 1946 was closely dependent on pH (Fig. 12a), whereas the close relation of Pw value was independent of pH (Fig. 12b). Hence Pw comprehends the effect of pH on availability of phosphate.

*Field trials on loamy sands, 1958 (Section 5.3.9)*

In a small series of trials with seed potatoes on marine loamy sand soils, relative yields of tubers (defined in Section 5.3.2) were closely related to Pw values but not to P-AL values (Fig. 13).

*Pot trials with different phosphate fertilizers applied to soils of high and low phosphate-fixing capacity, 1959 and 1960 (Section 5.3.10)*

In a pot trial with rye and potatoes, three strongly phosphate-fixing and three weakly phosphate-fixing soils, also differing in pH, were dressed with rock phosphate (Hyperphosphate Reno) and superphosphate (Van der Paauw, 1965). The relation of Pw value with percentage phosphate in potato tops differed little between the years. Figure 14a is a typical result. Response to fertilizer corresponds clearly with increment in Pw value.

For rye the same relation of response with increment of Pw value was found for each soil separately but at a particular Pw value percentage phosphate in the crop was highest on the strongly phosphate-fixing soils (Fig. 14b). This deviation was not important as only extreme soils were compared.

Direct as well as residual effects of phosphate fertilizers on crop response corresponded closely with the increase of Pw-value as effected by the dressing. The latter was strongest with monocalcium phosphate, less with Gafsa phosphate and least with Florida phosphate. The increase was highest on the weakly fixing soils. An example is given in figs. 14c and 14d (details of fig. 14a). Quantity and kind of dressing are indicated. In contrast with the effectiveness of the Pw-method, an overestimation of the availability of slightly soluble residues of rock phosphates in the soil is obtained when the P-AL method is used.

*Pot trial with soils of different phosphate-fixing capacity, 1965 (Section 5.3.11)*

In a pot trial with potatoes on some other soils of markedly different phosphate-fixing capacity, the residual effect of dressings applied in earlier years were compared in the third year. Sandy soils yielded no more than a third of the yield of others. Apart from them, a close relation between Pw value and percentage phosphate in tops was found (Fig. 15). The considerable difference in fixing capacity did not affect the relation of crop response to Pw value.

*Possible effects of other soil factors on the relation of Pw with crop response (Chap. 6)*

The interaction of other soil factors with phosphate in the trials was analysed. Sometimes pH had a slight effect (Fig. 16): at a given Pw value the amount of phosphate available may be somewhat less at high pH than at low pH. Usually

this influence is negligible.

Carbonate (Fig. 17a), humus (Fig. 17b) and soil texture (Fig. 17c) did not influence the availability of phosphate.

Mixing a phosphate-fixing sandy soil with peat after dressing it with different amounts of phosphate increased Pw value. There was a close relation of percentage phosphate in shoots with Pw value, independent of whether available phosphate had been altered by dressing or by mixing with peat (Fig. 18).

#### Soils from different parts of the world (Chap. 7)

As a final test of the applicability of the Pw method, a pot trial was carried out with spring wheat and potatoes, on soils from North America, Australia and various parts of Europe. There was a close relation between Pw value and percentage phosphate in wheat (Fig. 19). For some of the American and Australian soils, results for potatoes did not follow the same relationship (van der Pauw, 1971).

#### Some aspects of the use of the Pw-value in practical farming (Chap. 8)

The reproducibility of Pw value appears to be somewhat lower than that of P-AL value. When the soils of a number of plots were periodically tested over a period of 2-4 years, the overall standard deviation for the Pw value was 16,6 % and for the P-AL value 12,2 % (Table 5). This might bear some consequences for soil testing in practical farming.

The higher standard deviation is probably not due to the error of analysis which is relatively low for both methods (estimated at about 4 %). The sampling error for a single plot (normally about 10 % in the case of P-AL if the sample consists of 40 cores) might be higher for the Pw value procedure. In fact, the content of available phosphate in a single core, might show a larger variation in the case of Pw due to a possible spotty variation in soil factors, such as pH, which do affect Pw value but do not affect P-AL. In fact, the higher error then is the result of a better description of the actual status. Despite its lower error P-AL does not constitute a more appropriate basis for recommendations.

The higher sensitivity of Pw to changes in availability of soil phosphate due to climate and management (e.g. liming) may also be responsible for larger variations occurring in the course of time. The fact that this is registered by the Pw method and not by the P-AL method is no disadvantage. However, if a soil test is solely intended to register changes in the amount of available phosphate for the purpose of controlling the phosphate content of the soil, then the Pw method may be slightly less useful than the P-AL method.



## Conclusion

Phosphate availability to the plant was almost always effectively indicated by Pw value. The method proved to have a much higher efficiency than the P-AL method, and is widely applicable as was also shown by the close relation between Pw value and crop response in a pot trial with soils from abroad.

For permanent pastures the method gives no improvement over the P-AL method.

The results of additional studies, now continued by Ris, on the utility of the value as a basis for fertilizer recommendations appear to indicate that equal phosphate dressings can be recommended for all soils of the Netherlands with equal Pw values (Bakker & Ris, 1971).

## Appendix

### Determination of phosphate status (Pw value)

Method: P-water 1 : 60 (on volume basis)

*Preparing the soil sample* Dry sample at 30°-40°C. Remove coarse particles (plant residues and grit), grind and pass through a 2 mm sieve.

*Drawing of working sample* Fill the scoop (Fig. 20) amply and pack down the contents by standardized tapping or vibrating. Level off with spatula. Transfer contents (1.20 cm<sup>3</sup>) to flask of about 125 ml.

*Moistening* Moisten the 1.20 cm<sup>3</sup> sample with 2 ml demineralized water. Shake a few times by hand. Stand for 22 h at 20°C.

*Adding water* Add 70 ml demineralized water of 20°C, shake vigorously for 1 h at same temperature (160-170 strokes per min with bottle upright, or 30 rev. per min if turning bottle end over end).

*Filtering* Start filtering after an approximately constant time. The filter must be fine and should neither release nor adsorb phosphate. To avoid turbidity

1. use two filter discs folded together
2. wax margin of filter discs with paraffin wax to prevent the suspension from creeping over the edge
3. discard the first millilitres of filtrate (which are often turbid).

If, exceptionally, the whole filtrate is turbid, add some 1.5 g NaCl crystals to 50 ml of filtrate, and filter again through clean paper (the NaCl concentration of about 0.5 N does not influence the estimation of phosphate).

For Murphy & Riley's (1962) colorimetric method of estimating phosphate the following reagents are needed (all phosphate-free):

1. sulphuric acid 5 N
2. molybdate solution: 4 % (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4 H<sub>2</sub>O stored in the dark or in a brown bottle

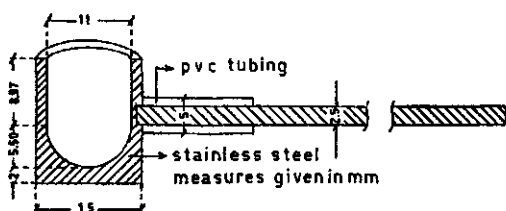


Fig. 20. Transverse section of sampling scoop.

3. ascorbic acid solution 1.75 % (cannot be kept longer than a day)
4. potassium antimonyl tartrate solution obtained by dissolving 0.275 g  $\text{KSbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  in demineralized water and diluting to 100 ml (cannot be kept for more than a few weeks). Mix 160 ml of 1, 50 ml of 2, 100 ml of 3 and 16 ml of 4. Make up to one litre, and after 20 min filter to eliminate a blue colloidal precipitate which may form.

The mixture can be kept only a day.

*Standard solutions* Dissolve 1.9167 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (prepared according to Sørensen) in demineralized water and dilute to 1 litre (1 ml contains 1 mg  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Prepare dilutions of this solution containing 10, 20, 40, 60 and 80  $\mu\text{g}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  per 20 ml. Store all solutions in the dark.

*Colorimetric analysis* Transfer 20 ml of the reagent mixture to bottles of about 100 ml.

1. Standards. Add 20 ml of the standard solutions. Include a blank (20 ml water)
2. Filtrate. Add 20 ml of the filtrate.

Mix well, wait 20 min and measure the absorbance of the solutions

- a. in a spectrophotometer at a wavelength of 882 nm or, if interference of Sn can be expected, at 720 nm (see under Interference), or
- b. in a colorimeter with a red-glass filter or an interference filter with maximum transmission at about 850 nm (i.e. the highest obtainable) or at 720 nm if Sn interferes.

The absorbance of the blue solution remains constant for at least 12 h.

Results accord with Beer's law up to 80  $\mu\text{g}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  per 40 ml final volume. From the readings of the standards, calculate the absorbance per  $\mu\text{g}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  (= a). Since 60 ml filtrate contains the phosphate dissolved from 1 ml soil

$$P_w = \frac{\text{abs. filtrate sol.} - \text{abs. blank sol.}}{a} \times \frac{60}{20 \text{ (ml filtr.)}}$$

in  $\mu\text{g}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ /ml soil or mg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /litre soil.

*Interference* See van Schouwenburg & Walinga (1967).  $\text{As}^{5+}$  interferes and has to be reduced to non-interfering  $\text{As}^{3+}$ .  $\text{Sn}^{4+}$  interferes when light absorption is measured at 882 nm. No interference has been observed when measuring at 720 nm. However the sensitivity is considerably lower than at 882 nm.

## Literatuur

- |                                     |      |   |
|-------------------------------------|------|---|
| Bakker, Y.                          | 1968 | Het fosfaatadvies voor bouwland op zand- en dalgrond op basis van het Pw-getal. Landbouwvoorlichting 25: 360-363.   |
| Bakker, Y. & J. Ris                 | 1971 | Het fosfaatbemestingsadvies op basis van het Pw-getal voor alle bouwlandgronden. Bedrijfsontwikkeling, editie Akkerbouw 2(2): 29-33.  |
| Dirks, B. & F. Scheffer             | 1930 | Der Kohlensäure-Bikarbonatauszug und der Wasserauszug als Grundlage zur Ermittlung der Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden. Landw. Jahrb. 91: 73-99.   |
| Egnér, H., H. Riehm & W. R. Domingo | 1960 | Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. K. LantbrHögsk. Annlr 26: 199-215. |
| Ferrari, Th. J. & F. Vermeulen      | 1955 | Soil heterogeneity and soil testing. Neth. J. agric. Sci. 3: 265-275.   |
| Kawe, A.                            | 1936 | Eine natürliche Methode zur Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens für Kalium und Phosphorsäure mit Hilfe der Bodenlösung. Z.PflErnähr. Düng. Bodenk. 43: 69-83.  |
| Murphy, J. & J. P. Riley            | 1962 | A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica chim. Acta 27: 31-36.   |
| Paauw, F. van der                   | 1939 | Het grondonderzoek op fosforzuurtoestand bij klei- en laagveengrasland. Landbouwk. Tijdschr. 51: 524-533.   |
| Paauw, F. van der                   | 1941 | Bemestingsproeven met superfosfaat op grasland. Landbouwk. Tijdschr. 53: 839-857.   |
| Paauw, F. van der                   | 1943 | Grondonderzoek naar fosfaat- en kalitoestand op grasland. Versl. landbouwk. Onderz. 49 (17)A: 915-1012.   |
| Paauw, F. van der                   | 1950 | Invloed van de kalktoestand op de beschikbaarheid van fosfaat op zandgrond. Versl. landbouwk. Onderz. 56.8: 3-19.   |
| Paauw, F. van der                   | 1959 | De landbouwkundige waarde van het P-AL-getal. Landbouwvoorlichting 16(4): 180-185.  |
| Paauw, F. van der                   | 1965 | Factors controlling the efficiency of rock phosphates for potatoes and rye on humic sandy soils. Pl. Soil 22: 81-98.  |

- |   |      |  |
|---|------|--|
| Paauw, F. van der   | 1971 | An effective water extraction method for the determination of plant-available soil phosphorus. <i>Pl. Soil</i> 34: 467-481.  |
| Paauw, F. van der,<br>L. C. N. de la Lande<br>Cremer & J. Ris | 1951 | Toetsing van grondonderzoek naar fosfaattoestand op Nederlands grasland. <i>Versl. landbouwk. Onderz.</i> 57:15: 5-67.   |
| Paauw, F. van der &<br>H. A. Sissingh                         | 1968 | Het Pw-getal, een nieuwe maat voor de beschikbaarheid van fosfaat in de grond. <i>Landbouwvoorlichting</i> 25: 348-359.  |
| Schouwenburg, J. C. van &<br>I. Walinga                       | 1967 | The rapid determination of phosphorus in presence of arsenic, silicon and germanium. <i>Analytica chim. Acta</i> 37: 271-274.  |
| Sissingh, H. A.   | 1961 | Componenten van het fosfaat in de grond welke betrokken zijn bij de fosfaatvoorziening van de plant. Thesis, Wageningen.   |
| Visser, W. C.   | 1943 | De nauwkeurigheid van verschillende methoden van grondonderzoek ter beoordeling van den kali- en fosforzuur-rijkdom. <i>Versl. landbouwk. Onderz.</i> 49 (5) A, 165-220. |
| Vries, O. de,<br>C. W. G. Hetterschij<br>& F. van der Paauw   | 1937 | Een en ander over de fosfaathuishouding in enkele Nederlandse grondsoorten. <i>Landbouwk. Tijdschr.</i> 49: 768-807.   |
| Vries, O. de,<br>C. W. G. Hetterschij<br>& F. van der Paauw   | 1938 | Die Löslichkeit von Bodenphosphat in Wasser, Zitronensäure und Königswasser. <i>Bodenk. Pfl. Ernähr.</i> 6(51): 144-154.   |
| Williams, E. G.   | 1967 | The intensity and quantity aspects of soil phosphate status and laboratory extraction values. <i>An. Edafol. Agrobiol.</i> 26(1-4): 525-546.                             |